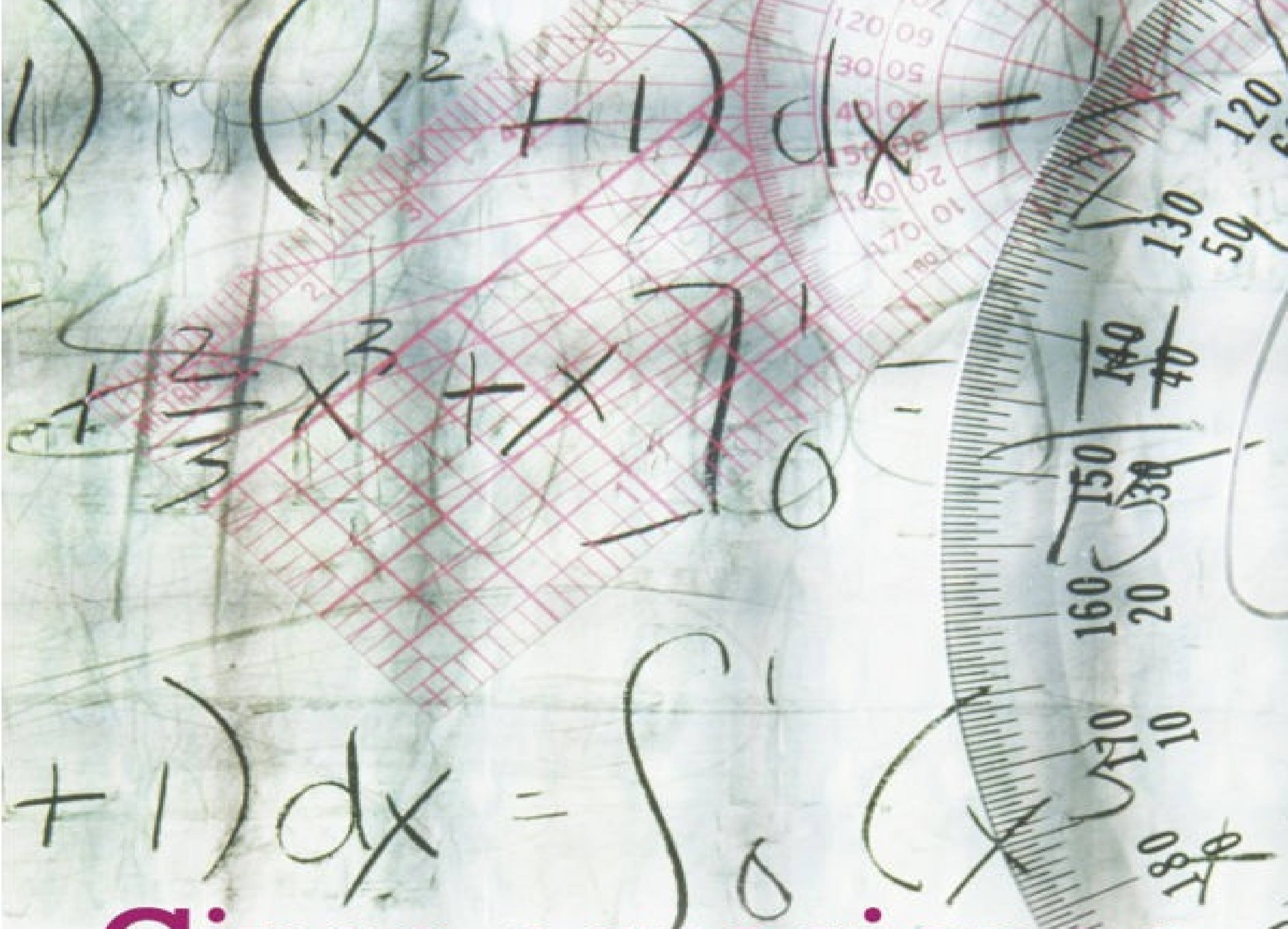
Michael Guillen



Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo

El poder y la oculta belleza de las matemáticas

Con lenguaje sencillo y cotidiano, el autor —editor científico del programa *Good morning, América*— nos revela el mundo secreto de las matemáticas a través de las sorprendentes historias de las personas que llegaron a descubrimientos claves para que la humanidad haya llegado a la electricidad, a volar en avión o construir la bomba atómica.

Michael Guillen

Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo

El poder y la oculta belleza de las matemáticas

ePub r1.6

koothrapali 17.11.14

Título original: *Five Equations that Changed World*
Michael Guillen, 1995
Traducción: Francisco Páez de la Cadena
Retoque de cubierta: koothrapali

A Laurel,
que cambió mi mundo para siempre

AGRADECIMIENTOS

POR SU ESPECIAL TALENTO y tenacidad, deseo dar las gracias a mis colaboradores de investigación Noe Hinojosa hijo, Laurel Lucas, Miriam Marcus y Monya Baker.

Por su paciencia, amistad y sabiduría extraordinarias, doy las gracias a mi agente literario, Nat Sobel. También, por su entusiasmo, por sus comentarios constructivos y por su apoyo, vaya un reconocimiento especial para mi editor, Bob Miller, y para el revisor, Brian DeFiore.

Por su ayuda, su consejo y su estímulo, todos ellos valiosísimos, estoy en deuda con: Barbara Aragon, Thomas Bahr, Randall Barone, Phil Beuth, Graeme Bird, Paul Cornish (Servicios de Información británicos), Stefania Dragojlovic, Ulla Fringeli (Universidad de Basilea), Owen Gingerich, Ann Godoff, Heather Heiman, Gerald Holton, Carl Huss, Victor Iosilevich, Nancy Kay, Allen Jon Kinnamon (Biblioteca Cabot de Ciencia de la Universidad de Harvard), Gene Krantz, Richard Leibner, Martha Lepore, Barry Lippman, Stacie Marinelli, Martin Mattmüller (Biblioteca de la Universidad de Basilea), Robert Millis, Ron Newburgh, Neil Pelletier (Sociedad de Horticultura norteamericana), Robert Reichblum, Jack Reilly, Diane Reverand, Hans Richner (Instituto Federal de Tecnología de Suiza), William Rosen, Janice Shultz (Laboratorio de Investigaciones Navales), John Stachel (Universidad de Boston), rabino Leonard Troupp, David Vale (Museo Grantham), Spencer Weart (Instituto Americano de Física), Richard Westfall, L. Pearce Williams, Ken Yanni (presa Hoover) y Allen Zelon.

Si, pese a la ayuda y el apoyo de todas estas buenas personas, he cometido muchos errores, son enteramente culpa mía, y doy las gracias de antemano a los lectores vigilantes que seguramente me corregirán.

INTRODUCCIÓN

POESÍA MATEMÁTICA

La poesía es, sencillamente, la forma más bella, impresionante y efectiva de decir las cosas.

MATTHEW ARNOLD

Las matemáticas son un lenguaje cuya importancia puedo explicar mejor comenzando por contar una historia bíblica bien conocida. Según el Antiguo Testamento, hubo una época en la que todos los pueblos de la Tierra hablaban una misma lengua, lo cual los unía y facilitaba la cooperación entre ellos hasta tal punto que abordaron un proyecto colectivo para conseguir lo aparentemente imposible: construir una torre en la ciudad de Babel que pudiera llevarles hasta el cielo.

Fue un acto imperdonable de soberbia y Dios se apresuró a descargar su cólera sobre los alegres pecadores. Les perdonó la vida pero no su lengua: como describe el Génesis 11:7, para desbaratar la empresa de aquellos blasfemos, lo único que necesitó hacer Dios fue «confundir su lenguaje, de modo que no entienda cada cual el de su prójimo».

Miles de años después seguimos balbuceando. Según los lingüistas, existen unas 1.500 lenguas diferentes habladas en el mundo actual. Y aunque nadie sugeriría que esta multiplicidad de lenguas es la única razón de que el mundo esté tan poco unido, ciertamente es algo que impide que haya una cooperación más estrecha.

Y nada nos recuerda más esta inconveniente realidad que las Naciones Unidas. A principio de los cuarenta, cuando se fundó, los funcionarios propusieron que a los diplomáticos se les exigiera hablar una sola lengua, una restricción que facilitaría las negociaciones y que simbolizaría la armonía del globo. Pero las naciones miembro pusieron objeciones (cada cual resistiéndose a abandonar su identidad lingüística) de manera que se llegó a un término medio; a los embajadores de las Naciones Unidas se les permite hablar una de las siguientes cinco lenguas: chino mandarín, inglés, ruso, español o francés.

A lo largo de los años ha habido no menos de 300 intentos de inventar y promulgar un idioma global, el más conocido de los cuales fue el realizado en 1887 por el oculista polaco L. L. Zamenhof. La lengua artificial que inventó se llama esperanto y hoy la hablan más de 100.000 personas en veintidós países.

Sin embargo, en razón de los millones que lo hablan con fluidez y de las consecuencias históricas de sus esfuerzos unificados, el idioma de las *matemáticas* es indudablemente el idioma global de más éxito que se ha hablado jamás. Aun no habiéndonos permitido construir una torre de Babel, sí ha hecho posible logros que en tiempos parecieron imposibles: la electricidad, los aviones, las bombas nucleares, el descenso del hombre en la Luna y la comprensión de la naturaleza de la vida y de la muerte. El tema de este libro es el descubrimiento de las ecuaciones que, en último término, llevaron a

estos logros tan fundamentales.

En el lenguaje de las matemáticas, las ecuaciones son como la poesía: establecen verdades con una precisión única, comportan grandes volúmenes de información en términos más bien breves y, por lo general, son difíciles de comprender por el no iniciado. Y así como la poesía nos ayuda a ver profundamente en nuestro interior, la poética matemática nos ayuda a ver mucho más allá de nosotros mismos: si no tanto como para llevarnos hasta el cielo, sí por lo menos hasta el mismo límite del universo visible.

Al intentar distinguir entre prosa y poesía, Robert Frost dijo una vez que un poema, por definición, es una forma concisa de expresión que nunca puede traducirse con absoluta precisión. Lo mismo puede decirse de las matemáticas: es imposible comprender el auténtico significado de una ecuación, o apreciar su belleza, a menos que se lea en el lenguaje deliciosamente caprichoso en el cual se escribió. Por eso precisamente he escrito este libro.

No es tanto fruto de mi último libro, *Bridges to Infinity: The Human Side of Mathematics* (*Puentes al infinito: el lado humano de las matemáticas*) como su descendiente evolutivo. Escribí *Puentes al infinito* con la intención de proporcionar a los lectores una idea de cómo pensaban los matemáticos y sobre qué pensaban. También intenté describir el lenguaje (números, símbolos y lógica) que los matemáticos utilizan para expresarse. Y lo hice sin someter al lector ni a una sola ecuación.

Fue como una medicina de dulce sabor que se ofreciera a los que se ven afligidos de ansiedad matemática, individuos que normalmente no tendrían el valor o la curiosidad de comprar un libro sobre un asunto que siempre les ha rechazado, asustándolos. En resumen, *Puentes al infinito* fue una dosis de alfabetización matemática pensada para ser digerida con facilidad.

Y ahora, envalentonado por haber escrito tal libro de éxito que no tiene ecuaciones, me he atrevido a ir un paso más allá. En este libro describo los orígenes matemáticos de ciertos hitos, ecuaciones cuyos efectos secundarios han alterado de manera permanente nuestras vidas cotidianas.

Podría decirse que estoy ofreciendo al público una dosis más fuerte de alfabetización numérica, una oportunidad de familiarizarse cómodamente con las cinco fórmulas más notables bajo su forma original y sin disfraces. Los lectores serán capaces de comprender *por sí mismos* el significado de las ecuaciones y no se quedarán sencillamente con una traducción no matemática de esas ecuaciones, inevitablemente imperfecta.

Los lectores de este libro descubrirán también cómo se llegó a cada una de esas ecuaciones. ¿Por qué es tan importante este aspecto? Porque, parafraseando a Robert Louis Stevenson, cuando se viaja a un lugar exótico, la mitad de la diversión consiste en llegar a él.

Espero que el ojeador que no sabe de números no se sienta asustado y repelido por el celo de mi esfuerzo. Que le quede claro que, aunque estas cinco ecuaciones parezcan abstractas, con absoluta seguridad no lo son sus *consecuencias*, como tampoco lo son las personas relacionadas con ellas: un solitario enfermizo y ansioso de amor, un prodigio maltratado emocionalmente y procedente de una familia deshecha, un analfabeto religioso y asediado por la pobreza, un viudo de voz dulce que vivió en una época peligrosa y un estudiante pagado de sí mismo que abandonó el instituto antes de tiempo.

Cada historia está estructurada en cinco partes. El prólogo relata algún incidente llamativo de la vida del personaje y que contribuye a dar el tono de lo que vendrá después. Luego vienen tres actos a los que denomino Veni, Vidi, Vici. Son las palabras latinas que se cree que dijo César después de derrotar al rey asiático Farnaces, y que quieren decir «llegué, vi, vencí». En Veni es donde explico cómo el personaje (el científico) llega a su misterioso tema; en Vidi explico históricamente cómo tal

asunto llegó a aparentar ser tan enigmático; Vici explica cómo hizo el científico para aclarar el misterio dando como resultado una ecuación histórica. Finalmente, el epílogo describe cómo esa ecuación nos ha cambiado la vida para siempre.

Al prepararme para escribir este libro, seleccioné cinco ecuaciones de entre docenas de competidoras muy serias solamente por cómo, en último extremo, han cambiado el mundo. Sin embargo, ahora me doy cuenta de que las historias correspondientes a cada una de ellas se combinan fortuitamente para dar al lector una crónica prácticamente ininterrumpida de la ciencia y de la sociedad desde el siglo XVII hasta el presente.

Resulta ser un período crucial de la historia. Científicamente, abarca desde los inicios de la llamada revolución científica y pasa por la Edad de la Razón, la Ilustración, la Ideología y el Análisis, épocas en las cuales la ciencia fue desmitificando cada uno de los antiguos cinco elementos: tierra, agua, fuego, aire y éter.

Lo que es más: en ese período crítico vemos a Dios desterrado para siempre de la ciencia, a la ciencia reemplazando a la astrología como principal manera de predecir el futuro, a la ciencia convirtiéndose en una profesión remunerada y a la ciencia intentando resolver los asuntos ultramisteriosos de la vida y la muerte, del espacio y del tiempo.

En estas cinco historias, desde la época en que un introspectivo y joven Isaac Newton se sienta serenamente bajo un frutal hasta que el inquisitivo Albert Einstein casi se mata escalando los Alpes suizos, vemos a la ciencia encaminándose desde la famosa manzana hasta la infame bomba A. O lo que es lo mismo, vemos a la ciencia pasar de ser una fuente de luz y de esperanza a ser una fuente de oscuridad y de temor.

Antes que yo ha habido escritores que han relatado las vidas de algunos de estos cinco científicos con demasiada frecuencia en biografías temiblemente largas. Y también otros escritores antes que yo han reconstruido la importancia de algunas de estas innovaciones intelectuales remontándose al inicio de la historia. Pero nunca han fijado su itinerante atención sobre el pequeño número de ecuaciones matemáticas que han influido en nuestra existencia de manera tan profunda y tan cercana.

La excepción es la ecuación de la energía de Einstein $E = m \times c^2$ de la que mucha gente ya sabe que, en cierto modo, es responsable de las bombas nucleares. Pero aun siendo tan famosa, hasta esta inicua ecuación sigue siendo poco más que un icono misterioso en la mente de la mayor parte de la gente, tan familiar y tan inexplicable como el emblema comercial de Procter & Gamble.

¿Qué representan exactamente las letras *E, m* y *c*? ¿Por qué está la *c* elevada al cuadrado? ¿Y qué significa que la *E* se iguale a $m \times c^2$? El lector sabrá las respuestas en «La curiosidad mató a la luz».

Los demás capítulos tratan de científicos menos conocidos que Einstein pero que no son menos importantes para la historia de nuestra civilización. «Entre una roca y una dura vida», se ocupa del físico Daniel Bernoulli y de su ecuación hidrodinámica $P + \rho \times 1/2\ v^2 =$ CONSTANTE que, en último extremo, originó los modernos aviones. «Cuestión de clase» se refiere al químico británico Michael Faraday y a su ecuación electromagnética $\mathbf{rot}\ \boldsymbol{E} = -\ \partial\boldsymbol{B}/\partial t$, que finalmente dio origen al dominio de la electricidad.

«Manzanas y naranjas» cuenta la historia del filósofo de la naturaleza Isaac Newton y de su ecuación gravitatoria $F = G \times M \times m\ /\ d^2$ que no dio origen a ningún invento específico sino a un acontecimiento épico: la llegada del hombre a la Luna.

Finalmente, «Una experiencia nada provechosa» se refiere al físico alemán Rudolf Julius

Emmanuel Clausius y a su ecuación termodinámica, o más exactamente, a su *desigualdad* termodinámica $\Delta S_{universo} > 0$. No dio origen a ningún invento histórico ni a ningún acontecimiento sino a una conclusión sorprendente: contrariamente a lo que suele creerse comúnmente, estar vivo es antinatural; lo cierto es que toda vida existe desafiando la ley más fundamental del universo y no en conformidad con ella.

En mi último libro, *Puentes al infinito*, quise indicar que la imaginación humana era en realidad un sexto sentido utilizado para comprender las verdades que han existido siempre. Como estrellas en el firmamento, estas verdades están por ahí, esperando a que nuestra imaginación extrasensorial las localice. Y aún más, sugerí que la imaginación *matemática* era especialmente presciente en el discernimiento de estas verdades incorpóreas y aporté numerosos ejemplos como prueba de ello.

También en este libro verán los lectores una corroboración espectacular de la teoría de que las matemáticas son un perro excepcionalmente ultrasensible y de aguda vista. Si no, ¿cómo podemos siquiera explicar las infalibles proezas y la tenacidad con las que estos cinco matemáticos fueron capaces de encontrar el rastro, por así decir, y apuntar hacia sus respectivas ecuaciones?

Sin embargo, así como las ecuaciones representan el discernimiento de verdades eternas y universales, su expresión escrita es estrictamente humana y provinciana. Por eso es por lo que se parecen a poemas, intentos maravillosamente ingeniosos de hacer comprensibles a los seres finitos las realidades infinitas.

Por ello los científicos de este libro son meramente exploradores intelectuales; son artistas extraordinarios que han dominado el extenso vocabulario y la compleja gramática del lenguaje matemático. Son los Whitman, los Shakespeare, los Shelley del mundo cuantitativo. Y su legado consiste en cinco de los mejores poemas que jamás ha inspirado la imaginación humana.

MANZANAS Y NARANJAS

Isaac Newton y la Ley de la Gravitación Universal

Deseo a veces que Dios volviera a este mundo oscuro e insondable; porque aunque de algunas virtudes careciera también Él tenía su lado agradable.

GAMALIEL BRADFORD

El joven de trece años Isaac Newton había pasado los últimos meses observando con curiosidad cómo construían los obreros un molino de viento a las afueras del pueblo de Grantham. El proyecto de construcción era sumamente emocionante porque aunque llevaban siglos inventados, los molinos de viento seguían siendo una novedad en esa región rural de Inglaterra.

Todos los días, al terminar la escuela, el joven Newton corría hacia el río y se dedicaba a aprender con todo detalle la forma, la disposición y la función de todas las piezas de aquel molino de viento. Luego se iba corriendo a su habitación, en casa del señor Clarke, para construir réplicas en miniatura de las piezas que acababa de ver montar.

Por ello, conforme iba tomando forma en Grantham el enorme artefacto de múltiples brazos, también había avanzado la maravillosamente precisa imitación de Newton. Para el curioso joven lo único que faltaba era que alguien o algo representara el papel de molinero.

La noche anterior se le había ocurrido una idea que consideró brillante: su ratoncito sería perfecto para ese papel. Pero ¿cómo lo educaría para que lo hiciera, para que conectara y desconectara la rueda del molino en miniatura como le ordenara? Aquello era lo que tenía que resolver esa mañana camino de la escuela.

Conforme iba andando despacio, su cerebro se afanaba en encontrar una solución. Sin embargo, súbitamente sintió un dolor agudo en el vientre: sus pensamientos se detuvieron de golpe. Cuando volvió en sí, el joven Newton salió de su ensoñación y se encontró con su peor pesadilla: Arthur Storer, el fanfarrón sarcástico y socarrón de la escuela acababa de darle una patada en el estómago.

Storer, uno de los hijos adoptivos del señor Clarke, gustaba de meterse con Newton, burlándose de él despiadadamente por su comportamiento inusual y por confraternizar con Katherine, la hermana de Storer. Newton era un jovenzuelo callado y absorto, que generalmente prefería la compañía de sus pensamientos a la de la gente. Pero cuando se relacionaba con alguien, siempre era con chicas; les encantaban los muebles para muñecas y otros juguetes que les hacía utilizando su juego de sierras, buriles y martillos en miniatura.

Aunque lo normal era que Storer llamara a Newton gallina, en esa mañana concreta le estaba insultando por ser tan estúpido. Desgraciadamente, era verdad que Newton era el penúltimo estudiante de toda la Escuela Gratuita Rey Eduardo VI de Gramática, de Grantham, colocado muy por detrás de Storer. Pero la idea de que aquel fanfarrón se creyera intelectualmente superior hizo que los

pensamientos del joven pasaran de los molinos de viento a la venganza.

Sentado al fondo de la clase, Newton solía encontrar sencillo pasar por alto lo que el señor Stokes, el maestro, decía. Sin embargo, en esa ocasión escuchó con interés. El universo estaba dividido en dos reinos, cada uno de los cuales obedecía a un conjunto diferente de leyes científicas, les contaba Stokes. La región terrenal, imperfecta, se comportaba de una manera y la región celestial, perfecta, se comportaba de otra; ambos dominios, añadió, los había estudiado hacía muchísimo tiempo y con todo éxito, deduciendo sus respectivas leyes, el filósofo griego Aristóteles.

Para el joven Newton, sufrir a manos de una imperfección terrenal llamada Storer era prueba suficiente de aquello de lo que hablaba Stokes. Newton odiaba a Storer y a sus demás compañeros de clase porque no les gustaba. Por encima de todo, se odiaba a sí mismo por gustar a todos tan poco que hasta su propia madre le había abandonado.

El pío joven pensaba que Dios era el único amigo que tenía y al único que necesitaba. Newton era mucho más menudo que Storer pero desde luego, con la ayuda de Dios, sería capaz de vencer a su ofensivo torturador.

En cuanto el señor Stokes terminó la clase ese día, Newton salió apresuradamente y esperó al fanfarrón en el cercano patio de la iglesia. A los pocos minutos un montón bullicioso de estudiantes se había congregado a su alrededor. El propio hijo de Stokes se erigió en árbitro, dando a Newton una palmadita en la espalda como para animarle, mientras guiñaba un ojo a Storer como para decirle que aquello iba a ser tan entretenido como ver a los leones comerse a Daniel.

Al principio, nadie voceaba a favor del joven Newton. En su lugar, cada vez que Storer le acertaba con un gancho, los pendencieros estudiantes le coreaban, incitando al rufián a golpear más fuerte la siguiente vez. Cuando pareció que Newton había recibido lo suficiente como para mostrarse sumiso, Storer se irguió y se relajó, sonriendo jactanciosamente a sus jóvenes pares.

Sin embargo, cuando se dio la vuelta para marcharse, el joven Newton se puso dificultosamente en pie: no iba a permitir que Storer adquiriera el derecho de dominarle durante el resto de su vida. Alertado por los gritos de advertencia, Storer se giró y recibió una patada en el estómago y un directo en la nariz; Newton había derramado sangre y eso le proporcionó nuevas fuerzas.

Durante los minutos siguientes, los dos intercambiaron golpes y se derribaron mutuamente. Una y otra vez Storer se retiraba creyendo haber vencido a Newton para verle enfrentándosele de nuevo.

Cuando todo terminó, la multitud se había visto forzada al silencio. No obstante, cuando el joven árbitro se acercó para felicitar al ensangrentado y exhausto Newton, los enmudecidos estudiantes se agitaron y comenzaron a vitorearle: Isaak se había convertido en David, decían jubilosos mientras bailaban en torno al caído Goliat.

Newton estaba más que satisfecho con lo que había hecho, pero no así sus compañeros de escuela. Cuando intentó marcharse, el joven Stokes le sujetó por el hombro y le animó a humillar a Storer. Newton dudó, pero queriendo obtener la aprobación de sus compañeros, arrastró al confundido fanfarrón por las orejas y le arrojó de cara sobre el muro de la iglesia. La multitud de jóvenes espectadores canturreaba de placer al congregarse en torno al atontado vencedor, dándole palmadas en la espalda y acompañándole hasta su casa sin contenerse lo más mínimo en sus gritos de celebración.

Una vez derrotado Storer, la atención de Newton se volvió rápidamente al problema de educar a su ratoncito. Sin embargo, eso significaba para Newton volver al comportamiento que había incitado a su torturador en un principio.

En cuestión de semanas, un Storer todavía magullado y contusionado reunió suficiente coraje

como para reanudar algunas de sus bromas anteriores. Y lo que era peor de todo: las acusaciones de Storer seguían dando en el blanco: a pesar de su victoria pugilística, Newton siguió siendo el burro de la clase.

Durante toda su vida, el joven Newton, con la ayuda de Dios, había sido capaz de soportar las novatadas de zoquetes insensibles como Storer. Pero ahora que había conocido el placer de verse aceptado por sus compadres, de saberse querido, encontraba a Storer descaradamente insufrible. Esta vez terminaría de verdad el trabajo que se había limitado a empezar en el patio de la iglesia.

En los meses que siguieron, Newton prestó atención en clase como nunca lo había hecho y estudió en casa. Presentó sus deberes a tiempo y respondió a todas las preguntas del señor Stokes.

Gradual, milagrosamente, pupitre a pupitre, el joven Newton se fue abriendo paso hasta el primer puesto de la clase. Sonreía para sus adentros, podía dar la espalda ahora, literalmente, a todos los que habían herido sus sentimientos en alguna ocasión o se habían atrevido a sugerir que eran mejores o más inteligentes que él.

En las décadas siguientes, la esfera de los intereses de Newton se ampliaría desde los molinos de viento hasta el conjunto del universo. Pero en él habría una cosa que no cambiaría: encontraría a otros antagonistas (u otras personas a las que consideraría como tales) y en todas las ocasiones su obsesivo deseo de revancha y de obtener aceptación le impulsaría a obtener una comprensión sin precedentes del mundo natural.

Por encima de todo estaría su comprensión de la gravedad, la fuerza que nos mantiene con los pies en el suelo. La pasmosa revelación de Newton nos haría *perder* pie y, en último término, nuestras queridas concepciones sobre Dios y los cielos se verían derribadas, como derribado cayó el fanfarrón Storer.

VENI

Hanna Ayscough Newton estaba loca de ansiedad. Isaac, su marido, había caído defendiendo el partido del rey Carlos I, expulsado de Londres por muchedumbres amotinadas y un Parlamento furioso y ávido de poder. El rey había buscado refugio en Nottingham, a solo cincuenta kilómetros de Woolsthorpe, la ciudad natal de Newton, declarando la guerra desde allí.

Inglaterra se había visto sometida a muchos enfrentamientos, pero ninguno como este. Aquella era una declaración de guerra civil oponiendo entre sí a miembros de la misma familia. De puertas afuera el conflicto trataba de dirimir quién había de gobernar Inglaterra (el soberano o el Parlamento), pero en el fondo se trataba de una confrontación entre cielo y tierra.

Durante siglos, los monarcas de todo el mundo se habían visto ungidos por la figura religiosa más prominente de su nación; en el caso de Inglaterra, el arzobispo de Canterbury. No se trataba de una mera ceremonia: era el reconocimiento de que a los reyes y a las reinas los elegía para el puesto el mismísimo Dios.

Por ello, en la política, como en la ciencia, la mayor parte del mundo del siglo XVII consistía en dos reinos drásticamente separados. Los simples mortales habitaban el reino *terrenal*, pero los reyes y las reinas estaban por encima de él; moraban en un dominio *celestial*, elevado, eximidos de cumplir las estrictas reglas y normas que imponían a sus súbditos… y a sus parlamentos.

A lo largo de los años, estos gobernantes designados por los cielos habían disputado con sus

parlamentos designados terrenalmente acerca del poder político cotidiano. En ese sentido, Carlos no había sido diferente; pero en aquel momento, en el otoño de 1642, por primera vez los dos reinos estaban en pie de guerra para dirimir a quién correspondía la primacía.

El Parlamento exigía que Carlos abandonara su control sobre la Iglesia y el Estado, culpándole de haber recaudado impuestos ilegalmente y de haber sido tan intolerante en lo religioso con los peregrinos, que ahora huían en masa hacia las incivilizadas colonias de América. «La cuestión en disputa entre el partido del rey y nosotros —declaraban los rebeldes parlamentarios— es si el rey habrá de gobernarnos a su voluntad, como un dios… o si el pueblo habrá de gobernarse por leyes dadas a sí mismo».

En respuesta a este amotinamiento, Carlos había huido de su castillo; había organizado en Nottingham un ejército de lealistas y avanzaba hacia Londres. Sin embargo, aunque él y su ejército estaban bien equipados y alimentados, su primera batalla importante contra las fuerzas parlamentarias terminó en retirada dejando 5.000 soldados muertos.

Entre ellos estaba Isaac Newton, de treinta y seis años, granjero y pequeño terrateniente cuyo padre había prosperado bajo el reinado controvertido pero suficientemente pacífico del rey. Newton había heredado justamente el año anterior la granja de su padre (la más grande de Woolsthorpe) y aquella misma primavera se había casado con Hanna y concebido su primer hijo.

Hanna llevaba seis meses embarazada cuando recibió la espantosa noticia. Comprendía y respetaba la importancia de la guerra del rey con el Parlamento, pero pasaba de la pena a la cólera pensando que su marido se había hecho matar y había dejado huérfano al niño que iba a nacer.

Lo único que la consolaba era la creencia corriente entre los pueblerinos de que los niños póstumos tenían invariablemente especiales poderes curativos y una buena suerte especial. Se animó todavía más cuando dio a luz el 25 de diciembre; un hijo póstumo nacido el día de Navidad, exclamaron los del pueblo, estaba más que destinado a ser alguien muy, muy especial.

Sin embargo, en cuanto puso sus ojos sobre el recién nacido, a quien llamó Isaac, Hanna empezó a preocuparse no fuera a ser que las alegres predicciones del pueblo hubieran sido un tanto prematuras. Su hijo había nacido con algunas semanas de antelación; no era más grande que una jarra de un litro y tenía todos los síntomas de no ser capaz de sobrevivir.

Conforme se extendía la nueva, las buenas gentes de Woolsthorpe dieron en hablar en voz baja de una buena profecía que se había convertido en mala. Como muestra, dos mujeres enviadas como recaderas en nombre del recién nacido no se molestaron en andar deprisa y descansaron muchas veces en su camino, tan seguras estaban de que el desdichado niño moriría antes de que ellas regresaran.

Se equivocaban. Conforme pasaban los días, el recién nacido Isaac se aferraba a la vida con fuerza creciente, poniendo de manifiesto una tenacidad, una fuerza de voluntad tan extraordinarias que parecían justificar a los habitantes del pueblo: murmuraban que aquel hijo de muerto, nacido el día de Navidad no era un ser humano ordinario.

Durante los primeros años de su vida el joven Isaac Newton fue tan débil que tuvo que llevar un collarín para mantener la cabeza en su sitio. Sin embargo, había pasado el peligro que había corrido su vida y todos en Woolsthorpe daban por supuesto que madre e hijo tendrían una existencia razonablemente feliz y cómoda.

Se equivocaban una vez más. Cuando Newton tenía solo dos años, su madre recibió una proposición matrimonial del reverendo Barnabas Smith, un viudo rico de sesenta y tres años, vecino de North Witham, un pueblo que se encontraba a cerca de dos kilómetros. Tras consultar a su

hermano, el reverendo William Ayscough, Hanna aceptó, mudándose por ello a North Witham sin su hijo al que dejó al cuidado de su madre.

Verse abandonado a esa edad tan temprana habría sido suficientemente traumático en circunstancias normales. Pero es que era el año 1645 y la guerra civil de Inglaterra hacía estragos por todas las regiones rurales. Woolsthorpe, antes protegida por el rey, había caído en manos del Parlamento. Todas las semanas se oían los disparos de las mortales escaramuzas que se daban en la zona y de las incursiones que hacían los dos partidos en busca de provisiones y alojamiento. Todo aquel caos atemorizaba al frágil y jovencísimo Newton y, lo que era peor, cuando lloraba para que acudiera su madre ella no estaba allí para consolarle.

La abuela de Newton hizo todo lo posible para apaciguarle, pero ella misma estaba bastante asustada por lo que ocurría. Casi todos los hombres capaces de Woolsthorpe habían muerto o marchado a la guerra, dejando sólo a los clérigos para ayudar en la defensa de mujeres y niños ante las bestialidades de los ejércitos en guerra.

En 1649, por añadidura, el jovencito empezó a ir a la escuela. Siendo delicado de nacimiento, tenía miedo de participar en los juegos agresivos que practicaban los demás muchachos, y estos no le acogían bien. Más aún, siendo huérfano se sentía inferior a otros niños, la mayoría de los cuales vivía en hogares enriquecidos por el amor de una madre y de un padre.

Todavía más desconcertado se sintió a finales de ese mismo año cuando el pueblo recibió las noticias de que el Parlamento dominado por los puritanos, dirigido por Oliver Cromwell, había derrotado a los ejércitos reales; el propio rey Carlos había sido decapitado. A lo largo de los años, el joven Newton había establecido un vínculo vicario hacia el bravucón monarca, esperando que algún día aquella postiza figura paterna llegara galopando para rescatarle a él y a su pueblo de aquellos desagradables parlamentarios.

Fue durante aquellos peligrosos años cuando el joven Newton llegó a apreciar la compañía de su tío, el hermano de Hanna, que vivía a tres kilómetros de él. Como todos los anglicanos de su tiempo, el reverendo Ayscough veía la guerra civil en términos religiosos oponiendo al rey (el «defensor de la fe» de Inglaterra) al Parlamento controlado por los puritanos.

Ambos bandos eran devotos cristianos, claro es, pero estaban divididos en cuanto al modo de llevar la religión organizada. Los anglicanos estaban administrados por toda una jerarquía de clérigos encabezados por el arzobispo de Canterbury, el equivalente inglés del Papa. Los puritanos se organizaban de forma más democrática, menos jerárquica. Lo cierto es que sus diferencias eran bastante esotéricas aunque su mutua intolerancia les hacía matarse unos a otros.

Newton era excesivamente joven como para entender nada de todo esto, pero viendo a su tío estudiar pacíficamente en la biblioteca, oyéndole hablar dulcemente a sus parroquianos, el joven Newton recibió el condicionamiento de asociar un estilo de vida religioso y de estudio a un ambiente de paz y seguridad.

Por ello, y en breve plazo, el joven Newton adquirió la costumbre de alejarse del caos que le rodeaba y sumirse en sus propios pensamientos. Buscaba zonas apartadas en las que se sentaba horas y horas, no tanto para observar el mundo natural como para *sumergirse* en él.

El joven descubrió que si meditaba minuciosamente y sin distracciones sobre los detalles de su entorno, era capaz de escapar de su miserable existencia y descubrir cosas interesantes en la naturaleza. Se dio cuenta, por ejemplo, de que los arcos iris siempre llevaban los mismos colores, que Venus siempre se movía en el cielo nocturno más deprisa que Júpiter y que los niños que jugaban al

corro de la patata se echaban un poco hacia atrás como si los empujara una fuerza invisible.

En estas inmersiones que le absorbían por completo, el jovencito fue capaz de entrar en un santuario tan reconfortante en todos sus aspectos como la rectoría de su tío, y ello sin tener que andar los tres kilómetros que le suponía llegar hasta allí. Y lo mejor de todo, descubrió la auténtica felicidad por primera vez en su vida.

En 1649 aquel embeleso recién descubierto por Newton lo estropeó el regreso de su madre y de algunos jóvenes extraños. Había muerto el reverendo Barnabas pero no sin antes haber concebido a tres hijos, uno de los cuales tenía menos de un año. Incluso entonces, incluso habiendo regresado su madre, el joven Newton bufaba y se quejaba de no tener el cariño y la atención de su madre solo para él.

Durante los meses que siguieron a su regreso, la señora Newton-Smith intentó explicar a su colérico hijo que se había casado con el viejo rector solo para asegurar su futuro financiero a largo plazo. Le reveló que el rector de North Witham había sufragado la renovación y la ampliación de la granja de Newton y había legado al joven Newton una gran superficie de terreno.

Sin embargo, nada de lo que su madre dijera podía dulcificar la amargura de haberse visto abandonado. Newton odiaba a su madre y a menudo había soñado con prenderles fuego a ella y a su segundo marido mientras dormían.

Por ello, y durante unos pocos años, aun habiendo cesado la guerra civil entre el rey y el Parlamento, otra guerra se libraba entre madre e hijo. En último extremo, lo único que detuvo aquella guerra fue una separación forzosa: aunque en esta ocasión fue el joven Newton el que abandonó a su madre.

Había llegado el momento de que aquel chico de doce años acudiera a la escuela de gramática de la ciudad de Grantham, a poco más de diez kilómetros de distancia. Como era una distancia excesiva para ir andando, su madre le consiguió alojamiento y manutención en casa de la familia Clarke, amigos de los Newton desde hacía mucho.

Habiendo vivido con una madre a la que apenas conocía y con tres medio hermanos de corta edad a los que no se preocupaba de conocer, al joven Newton no le desconcertó la idea de irse a vivir con unos completos extraños; por lo menos, pensaba, daban la apariencia de ser una familia absolutamente honrada. La familia estaba compuesta por el señor Clarke, que tenía su propia botica; la señora Storer-Clarke y sus cuatro hijos de un matrimonio anterior, entre ellos un hijo pendenciero llamado Arthur y una atractiva hija, Katherine, a quien gustó instantáneamente el nuevo inquilino.

Los Clarke recibían con frecuencia a invitados instruidos, de manera que la mente de Newton se mantuvo bien nutrida de alimentos intelectuales. Lo más maravilloso de todo era la enorme colección de libros que el señor Clarke guardaba en el ático. Ahí estaba el refugio perfecto, el santuario ideal, se dijo Newton con entusiasmo al sumergirse en temas que abarcaban todo el espectro intelectual.

Libros e invitados a cenar tuvieron el saludable efecto de introducir a este jovencito solitario en un mundo de espíritus que le eran semejantes: el francés René Descartes, que ofrecía una teoría para los recurrentes colores del arco iris; el alemán Johannes Kepler, que había descubierto que los planetas se movían más despacio cuanto más alejados estaban del Sol; y el holandés Christiaan Huygens, que daba el nombre de *fuerza centrífuga* al fenómeno del corro de la patata que el joven Newton había observado unos años antes.

Así, de pronto, Newton tuvo una aproximación a lo que era sentirse normal. Toda su vida se había sentido como un intruso, como si para él no hubiera sitio sobre la faz de la Tierra. Ahora, en el estudio

de la filosofía natural había encontrado un hogar, una comunidad de personas como él en el que se le podía aceptar, apreciar e incluso querer.

Durante esta época, Newton se quedó atrás en sus estudios escolares, tanta distracción le suponía aquella familia intelectual recientemente adoptada. Tampoco contribuyó a ayudarle en su concentración el hecho de haberse enamorado de Katherine, la atractiva y amable hijastra del señor Clarke; aunque era excesivamente tímido como para expresar sus sentimientos como no fuera fabricándole mueblecitos de juguete.

Y ciertamente hacía falta un puntapié del fanfarrón del hermano de la chica para despertar al joven Newton de sus sueños y para obligarle a abrirse camino hasta el primer puesto de la clase. Sin embargo, no bien lo hubo conseguido su madre volvió a entremeterse una vez más; ahora para ordenarle que regresara a la granja.

Las propiedades y las responsabilidades que habían heredado los Newton del fallecido reverendo Smith se le habían hecho excesivamente pesadas para llevarlas ella sola. Además, protestaba, su hijo ya había recibido una formación más que adecuada; después de todo ni su padre ni ningún otro Newton de la historia habían sido capaces de escribir su apellido.

Newton regresó a Woolsthorpe pero en contra del parecer de su tío y de su maestro. En esa época, no solo era Newton el mejor estudiante, alegaban Stokes y el reverendo Ayscough, sino que habiendo alcanzado semejante puesto de manera tan brusca, era muy posible que el joven fuera el primer genio *bona fide* que producía aquel condado rural.

Al joven le gustaba su madre menos que nunca; desobedecía abiertamente y era terriblemente desabrido. Como símbolo de su protesta aquel Newton de diecisiete años compró un cuadernillo de notas: puede que su cuerpo estuviera de vuelta en Woolsthorpe pero su espíritu seguiría en la filosofía natural, que exigía a todos sus estudiosos llevar un diario cuidadoso de sus teorías y sus observaciones.

Desgraciadamente para Hanna Newton-Smith pero afortunadamente para la ciencia, su hijo demostró bien pronto ser un inepto en la gestión de fincas. Por ejemplo, un día se distrajo tanto con una pequeña noria que había construido que no se dio cuenta de que una piara de cerdos había atravesado el río y devoraba el maíz del vecino.

A su madre se le impuso una multa «por permitir que sus cochinos entraran en sus maizales», escribió el secretario del juzgado y «por permitir que se estropeara la cerca sin posible reparación». No era la primera vez que la señora Newton-Smith tenía que pagar por las distracciones de su hijo, pero iban a ser con seguridad la última; inmediatamente le ordenó empaquetar sus cosas de vuelta a Grantham.

No bien hubo llegado a casa de los Clarke el joven Newton se dio cuenta de cuánto había echado de menos no solo sus estudios sino también a la encantadora Katherine. Ella misma le proporcionó no pocas pistas de que albergaba hacia él parecidos sentimientos (un roce suave ahora, una amable mirada después) pero todo en vano. Newton tenía tanto miedo a verse rechazado que nunca llegó a confesarle sus románticos sentimientos.

El joven se mostró mucho más capaz en lo que se refiere a la escuela de gramática, terminándola en solo nueve meses. El último día, en el verano de 1661, el señor Stokes le hizo levantarse ante toda la clase. Obedeció el joven y él y sus compañeros tuvieron la impresión de que se iba a producir una regañina. Hubo miradas furtivas, murmullos y no poca inquietud. Pero ¿por qué? ¡Qué había hecho ahora!, se preguntaba taciturno Newton.

De frente a la clase y esperando lo peor, Newton se vio enseguida liberado de su ansiedad. El señor Stokes comenzó alabándole por ser un estudiante tan modélico, rogando encarecidamente a los demás que imitaran a aquel joven que, aun huérfano, maltratado y acosado se había convertido en el orgullo y la alegría del condado de Lincolnshire. Sollozante, el fiel maestro rindió un homenaje tan conmovedor a su preciado estudiante que hasta los jóvenes alumnos sentados en sus pupitres tenían lágrimas en los ojos al terminar.

Gracias a la fuerza de las entusiastas recomendaciones del reverendo Ayscough y del señor Stokes, por no mencionar los méritos de sus propios logros, el joven Newton fue aceptado de forma inmediata en el Trinity College, *alma mater* del reverendo. Como le escribió en una carta a su madre, se trataba del «*college* más famoso» de todo el campus de la Universidad de Cambridge, que fundó en 1546 nada menos que el rey Enrique VIII.

Objetivamente hablando, el Cambridge del siglo XVII era poco más que un pueblo sórdido, pero para este joven que venía del campo, era el lugar más grande que había visto. Y por coincidencia, llevaba siendo el más alegre durante más de una década.

Once años antes, decidida la guerra civil a favor del Parlamento, los victoriosos puritanos habían impuesto en Inglaterra unas normas estrictas de comportamiento sin precedentes. Habían hecho del adulterio un delito capital y habían dejado fuera de la ley casi todas las formas de diversión, entre ellas las carreras de caballos, el teatro y el baile en torno a los *maypoles*.[1] Los gobernantes puritanos habían llegado a prohibir la celebración de la Navidad, incitando a esta queja por parte de un espantado anglicano: «¿Quién habría pensado ver las tiendas abiertas y las iglesias cerradas en Inglaterra el día de Navidad?».

En 1660 los ingleses ya habían aguantado lo suficiente el verse forzados a vivir una existencia tan austera, a obedecer, por así decir, las severas normas de cierto reino celestial puritano. Anhelaban las normas algo más juguetonas del deliciosamente imperfecto reino terrenal, con lo cual devolvieron la sagrada Corona inglesa a Carlos II, hijo mayor del rey decapitado. Y así, en 1661, cuando Newton llegó a Cambridge la encontró metida de lleno en la celebración por el retorno del país a una existencia algo más secular, una celebración con desfiles, música y ruidosas ferias.

Sin embargo, mientras Inglaterra se desmelenaba, el joven Newton se veía obligado a apretarse el cinturón. La señora Newton-Smith era suficientemente rica como para pagar la formación de su hijo pero había decidido retirarle su apoyo forzando al joven a matricularse en el *college* como *subsizar*.

Subsizar era el nombre que se daba a los estudiantes pobres que contribuían a financiar su formación sirviendo como criados a media jornada a otros alumnos cuyos padres les daban completo apoyo. Por ello y durante los años siguientes, Newton se vio nuevamente torturado por otros iguales que se sentían superiores a él; lo que es más, a Newton le habría resultado más fácil tolerar el maltrato de no haberse sentido, en lo más hondo, inferior y no querido.

Instintivamente, el joven volvió a sus antiguas costumbres. Cuando no estaba ocupado con sus clases, con los servicios religiosos o con sus obligaciones serviles (que incluían el vaciado de orinales, el cepillado del pelo del amo y el acarreo de leña) el inseguro prodigio de Woolsthorpe se sumergía en los detalles del mundo natural.

Una noche, después de terminar sus tareas de *subsizar* en la cocina del Trinity, seccionó el corazón de una anguila en tres partes. Durante horas el joven observó y tomó notas con todo cuidado, maravillándose de cómo las piezas separadas seguían latiendo sincrónicamente.

Newton empezó incluso a experimentar con sus propios ojos con una despreocupación

desgarradora. En cierta ocasión introdujo «un pincho plano entre el ojo y el hueso lo más cerca posible de la parte de atrás del ojo» estando a punto de quedarse ciego y todo ello con la esperanza de comprender con exactitud cómo percibían los humanos la luz y el color. «Apretando el ojo con su extremo aparecieron varios círculos blancos, negros y coloreados —anotó de pasada—, círculos que fueron más evidentes cuando me froté el ojo con la punta del punzón».

Durante sus años del Trinity, sus cuadernillos de notas, que llevaba a todas partes, se fueron llenando con observaciones e interrogaciones producto de su poderosa concentración y de su curiosidad de amplio espectro. «Sobre la luz y el color», «Sobre la gravedad», «Sobre Dios»…; se trataba de más que meros encabezamientos de las investigaciones de aquel extraño joven: eran atisbos del voraz apetito de un espíritu raro y dotado.

Mientras el cerebro de Newton se apresuraba en su camino hacia delante, bien nutrido y lleno de energía, su cuerpo comenzó a quedarse atrás y en 1664 se negó a seguir. Sus investigaciones incesantes le habían privado del sueño durante la mayor parte de sus estudios, y un Newton exhausto se vio obligado a guardar cama.

Aunque durante muchos meses se sintió débil, el joven se recuperó a tiempo de presentarse a los exámenes finales. No le salieron bien, pero obtuvo su título de bachiller en artes. Aún más, intervinieron algunos profesores influyentes que adivinaban en aquel estudiante mediocre e introvertido las maneras de un estudioso de primer orden, y a Newton se le otorgó una beca para obtener el título de *master*.

Apenas había comenzado el nuevo curso de estudios cuando llegó a Cambridge la noticia de que la temible peste había hecho presa de Londres. En los anteriores veinte años se había duplicado la población de la ciudad, poniendo en serio aprieto sus infraestructuras sanitarias medievales. En ese momento se hablaba de que semanalmente morían 13.000 personas.

Aunque Cambridge estaba a sesenta y cinco kilómetros de todo aquello, los funcionarios decidieron de todos modos cerrar la universidad no queriendo que se repitiera la historia: en el siglo XIV, la Muerte Negra, como se la llamaba, se había extendido como una pestilencia por toda Europa convirtiendo a Cambridge en una ciudad fantasma.

Sin embargo, antes de que se diera la orden para que los estudiantes evacuaran la ciudad, el joven Newton ya había regresado a Woolsthorpe: hasta la compañía de su madre le parecía preferible a la muerte por aquella horrorosa enfermedad. Calculaba también que era momento de reflexionar acerca de todo aquello que había aprendido en el Trinity durante los últimos cuatro años.

Era el verano de 1665 y mientras la histeria y la muerte se adueñaban de las estrechas calles londinenses, aquel hombre de veintidós años pasaba los días en el jardín, desentrañando los detalles de una nueva matemática que algún día se llamaría *cálculo*. Por encima de todo saboreaba la soledad y el que su madre hubiera dejado hacía ya tiempo de empujarle a convertirse en un caballero entregado a la agricultura.

Un día de esos, el tiempo era tan agradable y Newton estaba tan inmerso en sus pensamientos que no se dio cuenta de que se iba haciendo tarde. Poco a poco, a su alrededor el jardín se fue dorando cálidamente, bañado en la suave luz dorada que solo puede producir el sol poniente de un día de verano.

De repente, el golpe de una manzana al caer de un árbol cercano arrancó al joven de su profunda meditación. En los pocos momentos que le costó reorganizar sus pensamientos, el borde de una luna llena de aspecto gigantesco comenzó a asomar por el horizonte oriental.

En cuestión de minutos, la curiosidad insaciable del joven Newton comenzó a darle vueltas a la manzana y a la Luna. ¿Por qué caían en línea recta las manzanas hasta la superficie de la Tierra en lugar de caer oblicuamente? Si la manzana hubiera caído desde mucho más arriba, un kilómetro, cien, desde la Luna, ¿habría caído también a la Tierra?

Y por eso mismo ¿acaso la Luna no sentía el tirón de la gravedad de la Tierra? Si así era, ¿no significaría que la Luna estaba bajo las influencias terrestres, lo cual contradecía la creencia corriente de que la Luna estaba en el reino celestial, completamente aparte de nuestro planeta?

Inmerso en estas conjeturas heréticas Newton llegó a altas horas de la madrugada. Si la Luna podía sentir el tirón de la Tierra entonces ¿por qué no caía como una manzana? Conjeturaba que, sin duda, se debía a la fuerza centrífuga de Huygens que la *apartaba* de la Tierra; y que si esa fuerza y el tirón de la Tierra se equilibraban, entonces quizá eso explicara cómo la Luna era capaz de quedarse en su órbita de corro de la patata indefinidamente.

Sentado a la luz acerada de la luna, Newton estaba sumido en sus pensamientos. Y más aún, mientras los grillos cantaban y las ranas croaban en una charca cercana, el joven empezó a anotar ciertos cálculos e ideas que un día le llevarían a formular su extraordinaria ecuación de la gravitación universal.

Pasarían más de veinte años antes de que el mundo supiera lo que había ocurrido esa noche. A Newton le haría falta todo ese tiempo para perfeccionar y publicar sus resultados, pero cuando llegara ese día los cielos caerían al suelo con el sonido retumbante de un millón de manzanas caídas a plomo.

VIDI

Veintitrés siglos antes, Platón había dirigido una histórica revuelta contra los dioses tradicionales que moraban en la cima del monte Olimpo. Se quejaba de que ya no eran merecedores de las alabanzas porque se habían convertido en dioses excesivamente malévolos, inmorales e indignos.

Más todavía, protestaba el famoso académico, aquellos viejos dioses eran ya demasiado provincianos para un imperio griego que se había expandido drásticamente bajo la dirección macedonia del rey Filipo II (y que pronto se haría aún mayor bajo el reinado de su hijo, Alejandro Magno). Una civilización tan vasta y victoriosa necesitaba (se merecía) divinidades de clase mundial.

«Un hombre puede contar lo que quiera de Zeus y Hera y del resto del panteón tradicional», salmodiaba Platón, pero ya era hora de que el pueblo griego ampliara sus horizontes religiosos mirando hacia el cielo y reconociendo «la superior dignidad de los dioses visibles, de los cuerpos celestes».

Como si no fuera suficiente pedir tal cosa a sus compatriotas, Platón les imploraba a continuación «que abandonaran el miedo supersticioso a fisgar en lo divino… poniéndose a la tarea de obtener un conocimiento científico de sus movimientos y períodos [es decir, de los movimientos y períodos de los cuerpos celestes]. Sin ese conocimiento astronómico —argüía de manera sublime y retórica—, una ciudad no estará nunca gobernada de modo verdaderamente político y la vida nunca será auténticamente feliz».

Convencer al pueblo griego de que adoptara por completo a los nuevos dioses *además* de afirmar que los meros mortales eran capaces de comprender el comportamiento divino, fue una revolución religiosa de lo más radical. Fue también una revolución *científica* aunque esta no se reconocería por

completo hasta el drástico descubrimiento de Isaac Newton en el siglo XVII.

Resultó que el reconocimiento llegó muy lentamente porque los astrónomos fueron muy lentos a la hora de interpretar correctamente lo que veían en el cielo nocturno. Les parecía que el Sol, la Luna y las estrellas se comportaban impecablemente, aparentando siempre moverse en círculos perfectos en torno a la Tierra; entre todas las curvas conocidas, los círculos estaban considerados divinos porque eran simétricos sin ningún error y en virtud de no tener ni principio ni fin eran eternos.

Lo que dejaba perplejos a los astrónomos eran cinco puntos de luz que no titilaban y que parecían ir de un lado a otro por el cielo nocturno como si estuvieran bebidos. Platón se espantaba: no era un comportamiento de dioses (lo cierto es que recordaba a los ultrajantes truquitos de Zeus y Hera) y amenazaban con desacreditar su reforma religiosa.

Pronto empezaron los astrónomos griegos a referirse a estas díscolas deidades como *planetas*, el término griego que designaba a los vagabundos, y se pusieron a la tarea de intentar comprender sus movimientos aparentemente imperfectos. Necesitaron dos décadas pero fue un esfuerzo bien empleado: la revolución religiosa de Platón se vio salvada por un heroico ejercicio de razonamiento circular.

Platón y sus colegas explicaron que, mientras otros cuerpos celestes parecían zumbar en torno a círculos imaginarios, los planetas lo hacían con mucha mayor libertad sobre la superficie de *esferas* imaginarias. Como las esferas eran igual de simétricas e ilimitadamente eternas que los círculos (de hecho, matemáticamente hablando, las esferas no eran más que círculos bidimensionales) el movimiento planetario era igual de divino que el movimiento de la Luna, el Sol y las estrellas.

Durante los años siguientes a la muerte de Platón en el 347 a.C., Aristóteles amplió aún más la incipiente revolución de su maestro. Con un detalle extraordinario y una lógica fabulosa, Aristóteles ofreció a continuación una explicación de por qué y cómo eran los nuevos dioses celestes de Platón superiores a los humanos y a cualquier otra cosa que hubiera sobre la faz de la Tierra.

Todos los cuerpos celestes del universo (Luna, Sol, planetas y estrellas) giraban en torno a la Tierra, que no se movía de ninguna manera. Aristóteles teorizaba más aún; que el universo estaba dividido en dos regiones diferentes: la central abarcaba la Tierra y su atmósfera; más allá (desde la Luna en adelante) estaba lo que Aristóteles denominaba la región celeste.

El reino *terrestre*, según Aristóteles, consistía solo en las cuatro cualidades esenciales: lo húmedo y lo seco, lo caliente y lo frío. Bajo cualquier cosa terrestre se ocultaban todas ellas, incluyendo los cuatro elementos que sus contemporáneos creían que eran la base de la realidad física. Lo que llamaban tierra era fundamentalmente seco y frío; el agua era fría y húmeda; el aire era húmedo y caliente; el fuego era caliente y seco.

El reino terrestre era corruptible y cambiante, mantenía Aristóteles, porque el cuarteto de los elementos básicos y sus cuatro cualidades subsiguientes eran, en sí, corruptibles y cambiantes. Por ejemplo, si se calentaba agua, que era fría y húmeda, se convertía en aire, que era caliente y húmedo.

Aristóteles seguía explicando que los cuatro elementos terrestres tendían a moverse en línea recta, lo cual era lo apropiado para ellos: las líneas rectas eran las más terrestres de todas las curvas porque tenían extremos que simbolizaban la vida y la muerte. Por ejemplo, si no había coerción externa alguna, la tierra y el agua siempre optaban por moverse en línea recta *hacia abajo*, dándoles un aire de pesantez. Por contra, aire y fuego parecían poseer una levedad inherente, prefiriendo moverse siempre *hacia arriba*.

El reino *celeste* era cuestión absolutamente distinta. Consistía enteramente de un quinto elemento

básico, un protoplasma quintaesencial denominado éter. Este milagroso material se daba en densidades diferentes, según imaginaba Aristóteles, formando lo que había desde el Sol, la Luna, las estrellas y los planetas hasta un conjunto de esferas acopladas que giraban, y sobre cuyas superficies invisibles se desplazaban en sus órbitas sin tacha los cuerpos celestes.

El Sol, la Luna y las estrellas estaban sujetos a las esferas que siempre se movían en una dirección, lo que explicaba sus órbitas perfectamente circulares. Por lo que tocaba a los vagabundos celestes, los planetas, estaban sujetos a esferas que giraban en un sentido o en otro, de un modo ordenado pero complicado, lo cual explicaba sus movimientos más variados a través del cielo nocturno.

Aristóteles creía que a diferencia de los cuatro elementos terrestres, el éter era incorruptible. Su perfección significaba que los cielos permanecerían siempre perfectos y sin cambio: nunca se oxidarían ni se estropearían.

Con esta teoría del universo Aristóteles cumplió los deseos más queridos de Platón: había dado al gentío terrestre su primer atisbo del estilo de vida privilegiado de las estrellas celestes, deidades de rostro siempre renovado y cuyo comportamiento impecable era al tiempo inasequible y comprensible. Y aún más: la gente estaba emocionada con lo que veía porque el universo de Aristóteles era hasta el último detalle un *cosmos*, la palabra griega que significaba ordenación, belleza y decencia… todo aquello que podían pedirle a sus nuevos dioses.

Su teoría satisfacía asimismo el principio de razón suficiente, tan querido a la filosofía occidental, que sostiene que para cada efecto del universo debe existir una causa racional. Según Aristóteles, por ejemplo, los trozos de Tierra caían por su natural deseo de reunirse con su fuente primaria, la tierra. Suponía que los objetos pesados caían con más rapidez que los ligeros porque su deseo era mucho mayor.

Aristóteles tenía incluso una explicación plausible y respetuosa para que giraran las esferas celestes. Explicaba que cada una se veía barrida por un viento etéreo producido por la esfera inmediatamente superior, mientras que a la esfera más exterior la impelía el *primum mobile*, el motor primero, el mismísimo Dios.

Platón había hecho las presentaciones entre religión y ciencia y vivido lo suficiente para verlas prometidas. Aristóteles las había casado ahora del modo más atractivo y duradero. Y todavía más, se daban todos los síntomas de que aquella extraña pareja se beneficiaría mutuamente de tan insólitos esponsales.

Por su parte, la ciencia pintaba un cuadro asombroso de los cielos y corroboraba la existencia de un dios supremo. Sus prosaicas explicaciones de un reino por lo demás misterioso informaban y enriquecían las convicciones religiosas de la gente, exactamente como Platón había esperado; había dicho: «La disciplina que necesitamos para traernos la auténtica piedad es la astronomía».

Por su parte, la religión amplió su dominio y elevó la reputación de la ciencia. Anteriormente, y hasta el punto de ser definible, la ciencia era considerada ampliamente como una empresa excéntrica de dudoso valor, preocupada por lo esotérico del mundo terrenal y por las abstracciones del reino matemático.

Sin embargo, al paso de los siglos, pasaron también el imperio griego y los frutos de sus históricas innovaciones científicas y religiosas. El surgimiento del cristianismo en el mundo occidental se convirtió en la revolución religiosa más reciente durante la cual muchos dioses terrestres desaparecieron en favor del único Dios celestial adorado por los judíos ortodoxos y ensalzado por el hereje recientemente martirizado, Jesús de Nazaret.

Como la mayor parte de los pueblos del mundo civilizado hablaban latín y no griego, vivieron y murieron sin llegar a saber de Aristóteles y mucho menos de su teoría del universo. Sin embargo, conforme fueron traduciéndose los antiguos textos griegos, los cristianos descubrieron que, tal y como decía con entusiasmo el dominico san Alberto Magno: «La más sublime sabiduría de la que el mundo puede ufanarse floreció en Grecia. Así como los judíos sabían de Dios por las Escrituras, los filósofos paganos le conocían por la sabiduría natural de la razón y le rendían homenaje por ello».

Hacia el siglo XIII, los estudiantes de toda Europa aprendían ya la retórica platónica, la lógica aristotélica y la geometría euclidiana; incluso se convirtió en moda. Y lo que era más significativo, los dirigentes cristianos se enteraban de que el rabino Maimónides ya había reconciliado la cosmología de Aristóteles con el judaísmo y de que el filósofo Averroes había hecho lo propio con la religión del islam.

Para no quedarse atrás, por tanto, el brillante teólogo dominico Tomás de Aquino contribuyó a acomodar el universo geocéntrico de Aristóteles dentro del cristianismo. Aquello supuso una miríada de sutilezas, pero el resultado fue que se imaginaba a los cuerpos celestes, a los que ya no se adoraba como a semidioses, a lomos de esferas que los ángeles mantenían girando, en sustitución de los vientos etéreos. El *primum mobile*, sobre todo, se identificaba con el único Dios judeocristiano y no con una divinidad de carácter genérico.

Lo que Aristóteles había unido en primer lugar y que posteriormente se había visto reducido a pedazos por el tiempo y las diferencias de lenguaje, lo habían vuelto a reunir los judíos, los musulmanes y luego los cristianos. Ciencia y religión volvían a ir del brazo y esta vez su luna de miel se prolongaría a lo largo de un renacimiento histórico de la civilización occidental.

Sin embargo, desde principios del siglo XIV, buena parte del mundo habitado se vio devastada por una sucesión de brotes horrorosos de peste bubónica. Solo entre los años 1347 y 1350, eliminó como mínimo a una tercera parte de la población europea.

En épocas posteriores se lanzaron muchas acusaciones: los sobrevivientes culpaban a sus dirigentes espirituales por no haberles advertido de este castigo de Dios. Y como respuesta, el clero censuraba a las masas por atraer semejante castigo con su conducta pecaminosa.

Irónicamente resultaron más afectados en toda Europa las iglesias y los monasterios cristianos que la población civil; murió más de la mitad de los siervos de Dios, lo que lamentablemente llevó a otra calamidad mayor. Como indicaba un observador: «Los hombres que perdieron a sus esposas por la pestilencia e ingresaron a montones en las sagradas órdenes eran, muchos de ellos, analfabetos».

Atraídos por las grandes sumas de dinero que ofrecían los pueblos carentes de dirigente religioso, hubo cada vez más hombres que entraron en el sacerdocio por todo tipo de motivaciones equívocas. La mayoría de ellos eran «arrogantes y dados al fasto», según la amarga opinión del papa Clemente VI y malgastaban su mal adquirida riqueza «en alcahuetas y timadores, descuidando los caminos del Señor».

En esta situación de abandono y debilidad, la Iglesia católica fue golpeada por dos de sus miembros más desilusionados. En 1517 el sacerdote alemán Martín Lutero apadrinó una reforma religiosa histórica, suplicando a sus colegas que regresaran al cristianismo sustentado en una fe infantil y en las buenas acciones y no apoyado en las extravagancias del mundo temporal. Y en 1543 el teólogo polaco Nicolás Copérnico desencadenó una revolución científico-religiosa exhortando a un abandono de Aristóteles: pretendía que el centro del universo era el Sol y no la Tierra.

Copérnico era un astrónomo aficionado, pero no tenía pruebas materiales con las que defender sus

opiniones. Sencillamente creía que la teoría geocéntrica era innecesariamente complicada, a la cual se había llegado por la suposición mal orientada de que mirábamos el mundo desde un mirador tan firme como una roca que se encontraba en el centro de toda actividad.

Copérnico conjeturaba que, por ejemplo, el movimiento de los errantes planetas parecía complicado solo porque nosotros nos movíamos por el espacio de una manera complicada, subidos a una Tierra que giraba sobre su eje como una bailarina que danzara en torno al Sol. Una vez que se tenían en cuenta estos movimientos terrestres, según demostraba, el movimiento de los planetas se convertía en sublimemente circular, como el de los demás cuerpos celestes.

Para un niño al que se cogiera de los brazos y se le hiciera dar vueltas todo el mundo parecería girar y temblar. ¿Se movían las cosas de ese modo? La respuesta del niño sería «no, por supuesto que no» solamente si admitiera ser el único que giraba, y no los demás. Ese era el argumento de Copérnico, sencillo pero agudo.

Este canónigo polaco de Frauenburg, en Prusia Oriental, no fue el primero en abanderar la teoría heliocéntrica; dos mil años antes unos cuantos filósofos griegos habían dado con versiones de esa misma idea. Ya entonces había demostrado ser una teoría controvertida y, por no pocos de los mismos motivos, resultó serlo otra vez.

Científicamente hablando, señalaban sus críticos, no se sentía que la Tierra se moviera: si verdaderamente girara en torno a su eje y en torno al Sol, tendríamos que tener aquí alguna señal manifiesta de que así era. Algunos astrónomos conjeturaban que todo se vería barrido de la superficie terrestre, como las gotas de agua que se desprenden de una rueda que gira estando mojada.

En cuanto a la religión, también presentaba algunas objeciones irresistibles. En Josué 10:12-13, el Antiguo Testamento establecía claramente que durante la batalla de Gabaón «el Sol se quedó inmóvil, y la Luna esperó, hasta que el pueblo se hubo vengado de sus enemigos». La mayor parte de los que creían en el Dios judeocristiano lo interpretaba casi al pie de la letra en el sentido de que en circunstancias normales el Sol y la Luna *se movían* en torno a la Tierra.

A la vista de estas y otras objeciones y no habiendo una evidencia física de la teoría copernicana, la mayor parte del mundo civilizado, en sus ámbitos religioso y científico, siguió creyendo en el enfoque de los cielos que hacía Aristóteles. Hasta su colega revolucionario Martín Lutero ridiculizó a Copérnico por defender aquella idea tan peregrina que era el heliocentrismo. Con todo, había sido un siglo revolucionario y antes de que terminara aparecieron señales en los cielos que parecían absolver a Copérnico.

El primer presagio se dio durante una noche de 1572. Súbitamente apareció en el cielo una nueva estrella brillante (los astrónomos posteriores han pensado que se trataba de una estrella en explosión, una supernova) que consiguió que todo el mundo mirara a lo alto maravillado. Un astrónomo danés llamado Tycho Brahe fue muy efusivo al definirla: «Indudablemente un milagro, el más grande ocurrido en toda la naturaleza desde el comienzo del mundo».

Para la teoría aristotélica, este milagro fue un desastre porque violaba la premisa básica de la teoría de que los cielos eran inmutables e incorruptibles. Se suponía que solo en el reino terrestre las cosas aparecían y se desvanecían de ese modo.

Cinco años después, un segundo presagio agravó el desastre. Esta vez fue un cometa tan brillante que pudo verse a plena luz del día en toda Europa. Sin embargo, y por asombroso que resultase, el astrónomo Brahe se quedó todavía más atónito al medir el paralaje del cometa.

El paralaje es una ilusión óptica que los astrónomos han encontrado tan útil que se ha convertido

en uno de los trucos de su disciplina. Cuando se mira a un objeto, primero con el ojo derecho y luego con el izquierdo, el objeto parece cambiar de posición con respecto al fondo. Casualmente la cantidad de ese desplazamiento o paralaje *disminuye* cuando se *incrementa* la distancia al objeto. (Compruébelo usted mismo mirándose el dedo índice desde diferentes distancias).

En el caso del cometa, el equivalente de la visión con el ojo derecho fue la medida de Brahe desde una isla en la costa de Dinamarca. La del ojo izquierdo, por así decir, la dieron sus colegas de Praga. La diferencia entre las dos observaciones, el paralaje, permitió a Brahe deducir que el cometa estaba cuatro veces más lejos de nosotros que la Luna.

Los astrónomos se mostraron incrédulos. Aristóteles había dicho, y ellos siempre lo habían creído, que los cometas se originaban a partir de perturbaciones violentas de la atmósfera de la Tierra, y que no se daban mucho más allá de las nubes corrientes. Era impensable que un cometa corriera por los cielos más allá de la Luna.

Por tanto, y a la vista de lo cual, la reciente estrella y el cometa eran manchas desagradables en la reputación estelar de Aristóteles. Ciertamente la única justificación que recibió Aristóteles en esos años ominosos fue la relativa a su creencia de que los cometas eran precursores de desgracias. En ese sentido, desafortunadamente para su teoría del universo, estaba en lo cierto.

En los años que siguieron, conforme la ciencia fue haciéndose cada vez más receptiva a la posibilidad de que Aristóteles estuviera equivocado, la religión se puso más a la defensiva frente a los disidentes de todo tipo. La reforma religiosa de Lutero había cuajado en un amplio movimiento protestante y la ortodoxia se sentía amenazada, reaccionando como un animal herido y acorralado.

En 1600 el monje italiano Giordano Bruno fue quemado en la hoguera por su creencia en una filosofía extravagante que era en parte cristianismo y en parte alquimia, entre otras cosas. Resultó que también creía en la teoría copernicana del universo y debido a esa coincidencia, su espantosa ejecución tuvo un efecto aplacante incluso en aquellos individuos religiosamente píos que cuestionaban la posición central de la Tierra aunque no pusieran en tela de juicio la autoridad de la Iglesia.

Especialmente molestos se vieron los científicos cristianos que creían poder conciliar su religión con el heliocentrismo de Copérnico, como en tiempos se hiciera con el geocentrismo aristotélico. Sin embargo, en aquella época se mostraron reticentes a expresar sus opiniones abiertamente, por temor a atraer la atención de los inquisidores a los que la Iglesia católica había autorizado recientemente a perseguir herejes.

Un astrónomo alemán de cuarenta y siete años llamado Johannes Kepler fue particularmente discreto debido a que era luterano y copernicano, la peor elección posible por lo que al estamento religioso se refería. Por añadidura, era director del observatorio que había dirigido en primer lugar el fallecido Tycho Brahe y estaba a punto de anunciar diversos descubrimientos que iban a rematar la tarea de Brahe en su descrédito de la teoría aristotélica del universo.

Llegar a tanto en la vida no le había sido fácil a Kepler. Solo tenía dieciséis años cuando su padre había abandonado a la familia, dejándola sumida en una vida de abyecta pobreza. Para empeorar las cosas, se rumoreaba que su madre era bruja lo cual había terminado por arrojar malévolas sospechas sobre Kepler y su predilección por la astrología.

Desde luego que Kepler era un notable astrólogo; durante un año predijo correctamente un frío invierno, un levantamiento campesino y una invasión turca. Sin embargo, como científico tendía a desmerecer sus éxitos: «Si los astrólogos dicen a veces la verdad —había dicho recatadamente—,

debería atribuirse a la suerte».

Kepler prefería la astronomía pero no había trabajo para quien quisiera estudiar las estrellas por su valor puramente científico. Por ello, como joven que intentaba ganarse la vida para sí y para su endemoniada madre, había encontrado lucrativo realizar horóscopos. Por lo demás, Kepler siempre había albergado la creencia vaga y genérica de que los cuerpos celestes tienen alguna influencia sobre los asuntos terrenales.

Por ejemplo, cuando tenía seis años, él y su madre habían salido a ver, temerosos y emocionados, el fulgurante cometa de 1577. No volvió a pensar en él hasta que, al cabo de los años, Brahe, un gran observador de cometas, ofreció un trabajo al joven astrónomo indigente. A partir de ese momento, Kepler nunca perdió la convicción intuitiva de que su posición de preeminencia la había predicho aquel cometa.

Estaba en su mejor momento. Había pasado la mejor parte de sus anteriores veinte años intentando descifrar las meticulosas observaciones celestes de Tycho Brahe. Utilizando los últimos adelantos (a excepción del telescopio, que todavía estaba por inventar) el propio Kepler pasó cientos de horas observando los planetas, intentando discernir sus «movimientos y posiciones» auténticos, como en una ocasión animara Platón a hacer a sus compatriotas.

En ese momento, dos milenios después, se había completado esa misión pero el resultado no se parecía en nada al que Platón y Aristóteles habían previsto. Kepler había descubierto tres cosas notables de aquellos planetas errantes, siendo la primera que efectivamente manifestaban una maravillosa regularidad en su comportamiento si se creía que el Sol estaba en el centro de todos ellos.

Si T es la duración del año de un planeta (el tiempo que necesita para dar una vuelta completa a su órbita) y d representa la distancia del planeta al Sol, lo primero que Kepler descubrió se reducía a esta sencilla ecuación:

$$\boldsymbol{T^2 = \text{constante} \times d^3}$$

En castellano corriente y moliente: el cuadrado del año planetario siempre era un múltiplo del cubo de la distancia del planeta al Sol. Es decir, los planetas alejados del Sol tenían años largos mientras que los planetas próximos a él presentaban años cortos. (Mercurio, el planeta más cercano al Sol tiene un año que equivale a 88 de nuestros días; Plutón, el más alejado, tiene un año equivalente a ¡90.410 días terrestres!).

La segunda cosa que había descubierto Kepler revelaba una irregularidad aparente de los cielos. Anunció que los planetas no se movían a velocidades constantes a lo largo de sus órbitas; por el contrario, aceleraban y aminoraban su marcha como un yóquey que estuviera cambiando constantemente de opinión sobre la velocidad con la que debía correr por el hipódromo.

Kepler reveló, en último lugar, que los planetas recorrían órbitas ¡que eran cómo *elipses*, no como círculos! De sus tres revelaciones, esta era la que apuntaba más al corazón de la anticuada visión de Aristóteles sobre la perfección de los cielos.

Aunque estos descubrimientos eran peligrosamente sacrílegos, en aquel momento concreto no le importó a aquel astrónomo de mediana edad: «Ahora… nada me retiene. Me he entregado libremente al frenesí sagrado. Si me perdonáis, me regocijaré —clamaba entusiasmado con imprudente abandono un Kepler dominado por un delirio de felicidad—, si me reprobáis, lo soportaré».

Durante los años siguientes, Kepler supo evitar a los inquisidores católicos y concentrarse en

afinar su defensa del heliocentrismo. Por ejemplo, opinaba que a los planetas los mantenía en órbita no unas esferas etéreas sino una fuerza magnética procedente del Sol.

Sus contemporáneos tenían teorías diferentes: el filósofo René Descartes, por ejemplo, creía que todos los cuerpos celestes estaban situados en los vórtices de unos torbellinos gigantescos e invisibles. Suponía que los planetas orbitaban alrededor del Sol simplemente porque se veían atrapados por el torbellino del Sol.

Descartes explicaba que, por el mismo criterio, la Luna orbitaba en torno a la Tierra, atrapada en el torbellino invisible de la Tierra. Y aún más, las cosas *caían* a tierra siempre que tenían la desgracia de verse *absorbidas* por ese torbellino.

Sin embargo, en Italia, otro astrónomo, un hombre de sesenta y nueve años llamado Galileo Galilei, sí se veía atrapado por los vientos del cambio. Como Kepler y como casi cualquiera de su generación, Galileo había comenzado su existencia como aristotélico declarado. Pero ya en 1609 había cambiado de idea, al mirar por un pequeño y burdo telescopio de construcción propia; con él había visto pequeñas lunas en torno a Júpiter, exactamente como Copérnico había imaginado que la Luna orbitaba en torno a la Tierra.

La Luna terrestre, además, no era tan perfecta como Aristóteles la había pintado: estaba llena de grandes manchas. Galileo comentaba que algunas parecían cráteres y otras eran como *maria*, mares llenos de *agua*, un elemento corruptible que supuestamente se encontraba solo dentro del reino terrestre.

(Muchos años después de que se demostrara que Galileo estaba equivocado en lo del agua, los científicos han seguido manteniendo su imaginería. De hecho, los primeros astronautas que pusieron un pie en la Luna, descenderían en una zona llamada *Mare Tranquilitatis*, mar de la Tranquilidad).

Galileo también había descubierto algunas poderosas razones en la Tierra para dudar de Aristóteles. Por ejemplo, al medir la velocidad con la que caían rodando unas bolas metálicas por unas tablas con distintas inclinaciones, había descubierto que los objetos pesados no caían más deprisa que los ligeros; en contra de lo que nos dicen el sentido común y la celebrada teoría de Aristóteles, todos los objetos caen a tierra a la misma velocidad.

Desgraciadamente para Galileo, vivir en el país que albergaba la sede del poder romano católico significaba que corría mayor peligro que Kepler de ser acusado de herejía por sus denuncias de Aristóteles, a menudo faltas de tacto; y por su temeraria creencia en el heliocentrismo de Copérnico. Por ello no fue sorprendente que en 1633 fuera convocado al Vaticano para encararse con la Inquisición.

Galileo se enfrentó a la acusación de pasar por alto una orden que el Santo Oficio le había dado quince años atrás. El requerimiento papal le había advertido de que «la susodicha opinión de Nicolás Copérnico era errónea» y que, por tanto, «se ordenaba y se imponía al antedicho Galileo a abandonar completamente esa opinión. No la sostendrá, ni la enseñará, ni la defenderá de manera alguna ni bajo ninguna circunstancia, ni verbalmente ni por escrito».

Aunque insistió a lo largo de un juicio de meses en que su creencia en el heliocentrismo siempre había sido puramente académica, Galileo no pudo negar haber desairado la letra y el espíritu de la ominosa advertencia de la Iglesia. En consecuencia, el 21 de junio de 1633, un tribunal de cardenales le encontró culpable y le exigió que se retractara.

En un principio, Galileo se mostró intransigente. «No tengo nada que decir», repetía. Pero después de verse amenazado con el mismo destino que Giordano Bruno, el anciano astrónomo cedió: «Yo,

Galileo, en mi septuagésimo año, prisionero y de rodillas, y ante sus eminencias, con el Sagrado Evangelio ante mis ojos y en mis manos, abjuro, maldigo y desprecio el errar y la herejía del movimiento de la Tierra».

Presionado aún más, el derrotado y postrado Galileo reiteró su confesión: «No sostengo esa opinión de Copérnico —dijo en un gemido—. Por lo demás, quedo en vuestras manos. Hacedme lo que queráis».

Las tensiones que habían comenzado a agotar el matrimonio a largo plazo de la ciencia y la religión habían terminado por estallar en una reyerta feísima y pública. Sin embargo, no era lo que aparentaba: en Roma, la religión había puesto de rodillas a la ciencia pero en realidad era la ciencia la que amenazaba con derribar a la religión.

Podría argüirse que, desde luego, la religión no había triunfado en absoluto sino que, más bien, se había rendido mucho antes, cuando Tomás de Aquino y otros habían dejado a la ciencia el sagrado derecho de definir al Dios cristiano y a su reino celestial. Por ello, lo que la ciencia había dado ahora volvía a recuperarlo.

En las ideas de Platón y Aristóteles, la ciencia había proporcionado a la cristiandad un cielo resplandeciente, carente de imperfecciones terrenales y movido exquisitamente por Dios. En este momento, sin embargo, con las teorías de Copérnico, Brahe, Kepler y Galileo la ciencia lo reemplazaba por un cielo poblado por cometas, elipses y la propia Tierra orbitando y girando de una forma repugnante.

Al corromper el reino celestial, la ciencia amenazaba a continuación con hurtar a la religión aquel poder y aquel atractivo misteriosos que siempre se habían asociado a la sublimidad elevada y divina. En pocas palabras: mientras la religión ponía de rodillas a la ciencia, la ciencia hacía caer a la religión y la obligaba a morder el polvo.

Por su parte, la ciencia deseaba verse separada de la religión. Pero, sin embargo, la religión (acostumbrada a la comodidad de su matrimonio y con una imagen tan magníficamente definida por su cónyuge científico) deseaba seguir casada a toda costa.

Después de su juicio, a Galileo se le mantuvo bajo arresto domiciliario durante los ocho años que le quedaron de vida. Terminó por quedarse ciego debido a unas cataratas, pero hasta el final fue capaz de ver claramente que los esponsales de Platón habían conducido a una alianza impía.

En 1642 murió el acosado y anciano astrónomo italiano, dándose la coincidencia de que ese mismo año nació Isaac Newton. En los años que siguieron, Newton conocería el creciente extrañamiento entre ciencia y religión y, finalmente, provocaría su divorcio definitivo.

VICI

Los aldeanos supieron con deleite y sorpresa que Isaac llegaba de Cambridge para asistir a su madre enferma. Con los años, se habían mantenido bien informados de los tensos acontecimientos que se producían en casa de los Newton-Smith y en ese momento las habladurías versaban sobre una posible reconciliación.

Decir que el pueblo de Woolsthorpe estaba orgulloso de su hijo más famoso, es un grotesco eufemismo; la aldea le veneraba y se felicitaba de haber previsto su notoriedad; el hijo nacido sin padre el día del nacimiento de Cristo era en ese momento un profesor con *cátedra* de pleno derecho en

el departamento de filosofía natural de la Universidad de Cambridge.

Aquel hombre de treinta y seis años había ascendido rápidamente en el escalafón académico por los diversos descubrimientos que había realizado. Cualquiera de ellos, por sí solo, habría sido suficiente para garantizar a Newton un puesto en la historia.

Por ejemplo, como proeza matemática, Newton había inventado el cálculo. Aunque en adelante se convertiría en la perdición de no pocos estudiantes de instituto y de universidad, los filósofos del siglo XVII se entusiasmaron de que les proporcionaran un lenguaje matemático que les permitió, por vez primera en la historia, describir el mundo natural con precisión infinitesimal. (*Véase* «Entre una roca y una dura vida»).

También Newton había ampliado y refinado el trabajo seminal de Galileo con bolas metálicas observando cómo se movían los objetos en respuesta a la actuación de *cualquier* fuerza y no únicamente de la fuerza de la gravedad. En último extremo, había sido capaz de resumir el comportamiento de los cuerpos en tres sencillos axiomas o leyes:

Ley I: En un mundo en el que no haya fuerzas que empujen las cosas, el objeto que no se mueva seguirá sin moverse eternamente, mientras que un cuerpo que *se mueva* se mantendrá en movimiento para siempre, siguiendo una línea recta y con velocidad constante.

Ley II: En un mundo en que haya fuerzas que empujen las cosas, un objeto movido por una fuerza siempre se acelerará o se desacelerará, dependiendo de cómo se aplique esa fuerza.

Ley III: Si dos objetos chocan, cada uno de ellos recibirá por igual la fuerza de la colisión pero en sentidos opuestos. (Años después, se parafrasearía este axioma diciendo: «Toda acción tiene una reacción igual y de sentido opuesto»).

Todos estos logros de Newton le habían dado renombre en todo el mundo y muy especialmente en Woolsthorpe. Era un gigante intelectual y sin embargo a sus treinta y seis años, al acercarse a la imponente casona, temblaba como un chiquillo ante la idea de encararse con su madre, obligada a guardar cama.

Al entrar en la vieja casa le saludó su querido tío. El reverendo Ayscough estaba encantado de ver a Newton después de tantos años aunque también horrorizado de comprobar que eran ciertos los rumores que había oído a conocidos de su antigua universidad.

Newton tenía un aspecto terriblemente demacrado y distraído: durante los quince años anteriores había trabajado hasta caer en una crisis nerviosa de la cual todavía se estaba recuperando. Por lo que los médicos habían sido capaces de discernir, la crisis se había desatado por un agotamiento físico causado por el mucho trabajo y el poco descanso, combinado con una fatiga emocional originada por las constantes peleas con sus colegas.

Lo peor se había producido siete años antes, en 1672, cuando recibiera el reconocimiento del rey Carlos II, siendo elegido a continuación miembro de la Real Sociedad de Londres. Ser miembro de esta academia científica ultraexclusiva era un honor singular para cualquier filósofo de la naturaleza y mucho más si no había cumplido los treinta años.

A tono con la tradición, el nuevo miembro había presentado a la consideración de la sociedad un informe de sus últimas investigaciones. Era el equivalente científico de una presentación en sociedad pero iba a terminar en un enfrentamiento desastroso.

Hasta ese momento, la mayoría de los filósofos de la naturaleza habían creído que la luz blanca era absolutamente pura y que todos los colores conocidos se producían cuando pasaba por algún medio que la adulteraba. Por ejemplo, un poco de suciedad producía el rojo mientras que la suciedad en grandes cantidades daba el azul.

Así explicaban por qué la luz blanca que pasaba por un prisma de vidrio producía todos los colores del arco iris. La parte que pasaba por la zona más estrecha del prisma con forma de cuña daba el rojo; la que pasaba por la zona más gruesa daba el azul.

Sin embargo, Newton había llegado a una conclusión completamente diferente después de darse cuenta de que la luz coloreada que pasaba por *cualquier* zona del prisma seguía siendo del mismo color, el rojo seguía siendo rojo, el azul, azul, y así sucesivamente. Era evidente, conjeturaba Newton, que la que era inmutable y pura era la luz coloreada, y no la luz blanca. La verdad era que la luz blanca parecía estar compuesta de todos los demás colores, como manifestaba el hecho de que producía el arco iris.

Emocionado por estas revelaciones extraordinarias, el joven Newton las había reunido en una estupenda carta de presentación ante la elitista Real Sociedad de Inglaterra. Además, alentado por toda esta reciente atención colegiada (que le recordaba la de aquel día en que, ya hacía años, le habían aclamado por aporrear a Arthur Storer) Newton había llegado a sugerir inmodestamente que su descubrimiento sobre la luz blanca era «la revelación más extraña, cuando no más considerable, hecha hasta entonces sobre las actividades de la naturaleza».

El informe había sido un éxito, o eso le habían hecho creer a Newton. «Puedo asegurarle, señor —le había dicho efusivamente el diplomático secretario de la sociedad, Henry Oldenburg— que recibió una atención singular y una aprobación infrecuente».

Sin embargo, lo cierto es que molestos por el aire de importancia de aquel joven desconocido y por la audacia de su teoría radical, un pequeño número de miembros de la sociedad dirigidos por Robert Hooke había saludado la publicación con condescendencia y escarnio singulares. «En lo que respecta a su hipótesis —había bufado Hooke imperiosamente— no soy capaz de ver todavía ningún argumento innegable que me convenza de su certidumbre».

Por supuesto que la crítica científica estaba a la orden del día y que, en la mayor parte de los casos, no había que tomarla de manera personal. Cuestionando las teorías ajenas, muchas veces con una indiferencia brutal hacia los sentimientos humanos, los filósofos de la naturaleza pretendían crear una especie de jungla intelectual en la cual solo sobrevivieran las ideas más aptas.

Sin embargo, en este caso Hooke se había mostrado especialmente ansioso por desacreditar a Newton, al que sacaba siete años. En 1665 Hooke había publicado, en un libro de mucho éxito titulado *Micrografía*, una elocuente defensa de la teoría ortodoxa de los colores, embelleciéndola aquí y allá con ideas de su propia cosecha. Aquello le había dado la fama (lo cierto es que la *Micrografía* había sido su único gran logro) y no podía permitir que quedara viciado por la hipótesis atolondrada de cualquier principiante soberbio. «Porque ese mismo fenómeno queda resuelto según mi hipótesis, lo mismo que con la suya —concluía desafiantemente Hooke— sin ninguna dificultad ni esfuerzo».

Las denuncias de Hooke habían crispado al solitario e inseguro Newton, trayéndole viejos recuerdos de abandono y rechazo. Intentó defenderse, volver a establecer sus resultados y razonar lo

más cuidadosamente posible, pero sin éxito: no se podía acallar a los críticos.

El resultado fue que Newton enfermó, atribuyendo a Hooke en su mayor parte el envenenar su flamante relación con la sociedad. Llegó a odiar a aquel fanfarrón y, sin embargo, en lugar de acelerar su resolución, la fuerza de aquella nueva patada en el estómago había hecho que Newton se apartara súbitamente de la única familia a la que había pertenecido. «Resueltamente le digo *adieu* eternamente —repuso con amargura— porque ya veo que un hombre debe resolver o no presentar nada nuevo o convertirse en un esclavo para defenderlo».

Aunque los fanfarrones le habían acobardado, Newton prefirió no darles la satisfacción de saberlo. Por ello, en su carta de dimisión, fingió abandonar la sociedad porque Londres estaba demasiado lejos de Cambridge como para asistir a las reuniones: «Porque aun honrando a tal institución, como veo que no puedo aportar nada ni puedo participar (en razón de la distancia) de la ventaja de sus asambleas, deseo dimitir».

Después de aquello, Newton había prometido no volver a publicar nunca jamás ningún trabajo suyo. Por ello, y durante todos aquellos años, había mantenido en secreto sus ideas y sus observaciones experimentales, garabateadas en las páginas de sus cuadernillos; si sus famosos logros se conocían en todo el mundo, era porque se habían filtrado de forma vaga e incompleta por medio de cartas y de comentarios de viva voz.

No volvió a intentar el regreso a la Real Sociedad, como tampoco a la sociedad en general. Hasta había abandonado la esperanza de unirse alguna vez a Katherine Storer. Durante todo ese tiempo se había sentido demasiado inseguro y se había dedicado en exceso al estudio como para entregarse a la única mujer a la que había amado verdaderamente; por su parte, ella había sido excesivamente educada como para ofrecerse a él. Había pasado la ocasión; otro hombre la había desposado.

Al entrar en el dormitorio de su madre, Newton se sintió el hombre más solo del mundo: ya le habían rechazado sus colegas y el fabuloso Cupido y le daba la impresión de que estaba a punto de perder a aquella mujer enigmática que toda la vida le había profesado, aunque no demostrado, un amor imperecedero.

Al aproximarse al enorme lecho, Newton comprobó que su madre tenía la tez cenicienta y apenas podía hablar, aunque sí pudo ofrecerle una débil sonrisa de reconocimiento. Se conmovió: la había odiado durante la mayor parte de su vida pero ahora, enfrentado a su extrema vulnerabilidad, a su mortalidad, algo se le ablandó en el corazón y lloró como un niño.

No se había portado demasiado bien como madre, pero era ella la persona a la que secretamente más había deseado impresionar. Con ella se había mostrado desafiante e incluso cruel pero aquella conducta había quedado atrás. En ese momento, con los ojos arrasados en lágrimas, su único deseo era demostrarle lo mucho que la había querido siempre, lo mucho que había deseado su amor.

Se corrió enseguida la voz sobre el drástico arrepentimiento de Newton y los aldeanos se quedaron maravillados. Según un testigo, «pasó noches en vela con ella, le dio él mismo los remedios, curó sus llagas con sus propias manos e hizo uso de aquella destreza manual por la cual era tan notable para atenuar el dolor que siempre acompañaba a las curas».

Sostenido por la acumulación de una vida entera de amor no demostrado, Newton apenas comía o dormía. Estaba invariablemente a disposición de su madre, según dijo un aldeano, «aplicando el atormentador remedio que normalmente se aplicaba… con la misma diligencia que empleaba en sus más queridos experimentos».

A las pocas semanas murió su madre y fue enterrada en el cementerio del pueblo. En el período

subsiguiente, Newton se maldijo por no haber cambiado de ánimo antes, pero también el joven filósofo de la naturaleza se alegró de haber descubierto finalmente el sentimiento de amor filial por la madre.

En los días siguientes permaneció en Woolsthorpe para ayudar a organizar las cosas de su madre y para recordar. Caminó por los pastos, cabalgó hasta el molino de viento cercano a Grantham, que ya tenía un aspecto bastante ruinoso y pasó muchas horas con su tío.

Una cálida noche, paseando por el jardín, comenzó a salir la luna, como había ocurrido hacía catorce veranos. Newton recordó que en aquella ocasión había hecho unos cálculos para mostrar por qué la Luna no caía hacia la Tierra como una manzana que estuviera en un árbol altísimo.

Había deducido que no caía porque la fuerza gravitatoria de la Tierra se oponía a la propia fuerza centrífuga de la Luna; Newton soltó una risita al recordar que, de joven, se había referido a ella como la fuerza del corro de la patata.

Ahora, siendo mayor, prefería representarse la situación como la de una persona que girara al extremo de una cuerda: la fuerza centrífuga era la que mantenía tensa la cuerda tirando con una intensidad que dependía de solo tres cosas.

Primero, dependía de la masa: tiraría más de la cuerda una persona mayor que girara que un niño pequeño.

Segundo, dependía de la longitud de la cuerda: una cuerda muy larga produciría un efecto mayor que una cuerda corta, porque ciertamente para la persona a la que se hiciera girar en un círculo mayor la experiencia sería más mareante.

Finalmente, dependería de la velocidad: cuanto más deprisa se hiciera girar a la persona, más tiraría de la cuerda y tendría una mayor sensación de verse apartada del centro.

Matemáticamente, si m es la masa de la persona, d la longitud de la cuerda y T el tiempo empleado en dar una vuelta completa, entonces la fuerza centrífuga que experimentaba la persona vendría descrita mediante esta sencilla ecuación:

$$\text{FUERZA CENTRÍFUGA} = \frac{\text{constante} \times m \times d}{T^2}$$

O sea: una fuerza centrífuga grande correspondería a una persona o a un objeto muy pesado que giraran muy deprisa al extremo de una cuerda larga en un tiempo cortísimo; es decir, la fuerza centrífuga grande dependería de multiplicar una m grande por una d grande y dividirlas por el cuadrado de una T pequeña.

Y a la inversa, una fuerza centrífuga pequeña se correspondería con una persona o un objeto ligeros girando lentamente al extremo de una cuerda corta en un tiempo muy largo; es decir, la fuerza centrífuga pequeña resultaba de multiplicar una m pequeña y una d pequeña y dividirlas por el cuadrado de una T grande.

Conforme el jardín iba llenándose de los chirridos y croares de sus habitantes nocturnos, aquel Newton tranquilo recordaba cómo su mente se había centrado en el T^2 de aquella fórmula. En un principio, había sido incapaz de recordar dónde lo había visto antes, pero luego se había acordado.

Un siglo antes, Kepler había argumentado que los planetas giran alrededor del Sol en unas órbitas que obedecen una ley sencilla:

$$T^2 = \text{constante} \times d^3$$

Newton recordaba haberse preocupado porque la Luna no fuera un planeta pero si orbitaba alrededor de la Tierra, como algunos decían, entonces también ella podría obedecer a la fórmula de Kepler. De ser así, entonces él podría sustituir el T^2 de su propia fórmula por el equivalente matemático que daba Kepler, es decir, el producto de la constante por d^3. Y por tanto:

FUERZA CENTRÍFUGA DE LA LUNA

$$= \frac{\text{constante} \times m \times d}{\text{constante} \times d^3}$$

$$= \text{nueva constante} \times \frac{m}{d^2}$$

En otras palabras: aquel año terrible de 1665, en medio de la peste, el joven Newton llegó a un hermosísimo descubrimiento. La fuerza centrífuga que la Luna experimentaba al girar en torno a la Tierra dependía de solo dos cosas (dejando la constante aparte): la masa m de la Luna y la longitud de aquella cuerda imaginaria d que la conectaba a la Tierra. Esa cuerda imaginaria simbolizaba el tirón de la fuerza gravitatoria de la Tierra. Tiraba de la Luna y la fuerza centrífuga de la Luna tiraba en sentido contrario. El resultado era un equilibrio cósmico, según razonó el joven Newton, que explicaba por qué la Luna, en lugar de caer o de alejarse, giraba en círculos una y otra vez en una especie de pauta mantenida eternamente.

Lleno de nostalgia, Newton recordaba el momento climático de aquella noche ominosa cuando no contaba nada más que veintitrés años. Había llegado a la conclusión de que, *si estuviera en lo cierto* acerca del equilibrio, si las dos fuerzas oponentes fueran iguales, eso significaría que obedecían a la misma ecuación matemática:

FUERZA GRAVITATORIA DE LA TIERRA

= FUERZA CENTRÍFUGA DE LA LUNA

$$= \frac{\text{constante} \times m}{d^2}$$

Esto es, el tirón gravitatorio de la Tierra se debilitaba cuanto más lejos se estaba de la Tierra… se debilitaba con el *cuadrado* de la distancia (o lo que es lo mismo, la fuerza se iba haciendo cada vez menor al dividir la m por una creciente d^2).

Por ejemplo, una manzana dos veces más lejos de la Tierra notaría un tirón equivalente a la cuarta parte. (En otras palabras, la fuerza se dividía por cuatro, el cuadrado de dos). Una manzana tres veces más lejos de la Tierra notaría un tirón nueve veces menor, y así sucesivamente. En un lugar tan distante como la Luna, el tirón de la Tierra sería desde luego débil pero seguiría existiendo.

Lo cierto es que por muy lejos que quisiéramos imaginarlo, seguiría existiendo el tirón de la Tierra. Su fuerza nunca se desvanecería por completo; sencillamente iría disminuyendo conforme nos

alejáramos de la Tierra hacia el infinito.

Newton se dio cuenta en ese momento, mucho más claramente que nunca, de que aquella última afirmación era un concepto terriblemente herético. Ahí había un argumento perfectamente razonable para pensar que el reino terrenal podía extenderse hasta los últimos confines del universo, en contradicción abierta con la creencia de Aristóteles de que no pasaba de la Luna.

Newton, al levantarse para regresar a casa, miró una última vez hacia arriba y se preguntó qué intentaban decirle los cielos. No era en absoluto un ávido astrólogo pero a semejanza de Kepler, siempre se había inclinado a creer en la interconexión de los dos reinos del universo.

Creía que Dios intervenía en nuestros asuntos cotidianos por necesidad. Ciertamente, siguió meditando Newton al subir la escalera que llevaba a su habitación, se podía pensar en la vida como en una especie de equilibrio cósmico: desde que Adán y Eva habían comido de la manzana, la presencia redentora de Dios había sido la única cosa que impedía que este mundo imperfecto fuera a la ruina.

Mientras Newton se dormía aquella noche pensando nuevamente en la lucha entre las fuerzas del cielo y de la tierra, los habitantes de Londres se mantenían despiertos por una pelea parecida entre los católicos y el gobierno inglés.

Con la experiencia reciente de haber sido gobernados por puritanos excesivamente estrictos, los ingleses miraban con inmerecida malicia y suspicacia a los no anglicanos, fueran fanáticos o no; en resumidas cuentas, estaban sumamente irritados. Por ejemplo, se rumoreaba que hacía muy poco el Papa había puesto de su parte a Jacobo II, hermano del rey, para asesinar a Carlos II; en el frenesí paranoico que siguió se asesinó a muchos católicos inocentes.

Además, al regresar a Cambridge, Newton volvió a una universidad que excluía de su docencia a cualquiera que no hiciera un juramento de lealtad. Lo cierto es que de acuerdo con aquella llamada Ley de Prueba, nadie podía ocupar ningún puesto ni público ni militar si rehusaba recibir la comunión según los principios de la secularizada Iglesia de Inglaterra.

Los filósofos ingleses de la naturaleza fueron los más entusiastas valedores de la Ley de Prueba, que veían como una sanción oportuna contra la continuada persecución de la ciencia por parte de la Iglesia católica. No en vano, decían, el Vaticano seguía manteniendo los escritos de Galileo en su reprensible índice de libros prohibidos. (Y así seguiría siendo hasta el ¡31 de octubre de 1992!).

En la Inglaterra del siglo XVII la religión estaba menos unida a la ciencia y, por ello, era más tolerante con la voluble opinión científica sobre la creación de Dios. Y a la inversa, la ciencia era más tolerante con la religión. Y desde luego muchos de los contemporáneos de Newton eran siervos devotos de ambos reinos.

Como teólogos, leían la Biblia y criticaban las interpretaciones de los demás. Como filósofos de la naturaleza, hacían experimentos y criticaban las teorías de los demás para explicar mejor sus resultados. Podría decirse que entre los anglicanos ciencia y religión estaban separadas: cada cual tenía su propia casa y siempre que se relacionaba con el vecino trataba de llevarse bien e incluso de conciliar sus cada vez mayores diferencias.

Muchos de los colegas de Newton, por ejemplo, intentaban conciliar las leyes de la ciencia con el relato bíblico del diluvio universal. Necesitarían años para llegar a una conclusión pero después de largos y controvertidos cálculos, terminarían por deducir que el diluvio universal había ocurrido precisamente el 28 de noviembre del año 2349 a.C., cuando un cometa a baja altura había abierto enormes grietas en el suelo permitiendo que el agua escapara de los océanos e inundara la tierra.

El propio Newton ofrecía dos caras: cuando no extraía significados de las difíciles profecías

contenidas en la Biblia, intentaba transmutar el hierro en oro. Aun no siendo demasiado astrólogo, iba haciéndose bastante experto en la alquimia, la predecesora de la moderna química.

Sin embargo, la dirección de los pensamientos de Newton cambió por completo al recibir una carta de su viejo enemigo Robert Hooke. Sin que Newton lo supiera, Hooke había llegado a admirar de lejos los avances de Newton, aunque a regañadientes y lleno de envidia, y quería ahora que Newton le diera su opinión sobre una nueva idea.

La carta explicaba que había pensado mucho en las órbitas elípticas de Kepler. Como resultado, había llegado a la conclusión de que las órbitas probablemente las originaba una fuerza gravitatoria ¡que se debilitaba *con el cuadrado de la distancia* a la Tierra!

Explicaba Hooke que había llegado a aquella idea imaginando que la Tierra era una fuente de luz… una vela, por así decir. Hacía un siglo que Kepler había descubierto que el brillo disminuía *con el cuadrado de la distancia* a la fuente luminosa: una vela que estuviera dos veces más lejos, parecería cuatro veces menos brillante; una vela a una distancia tres veces mayor parecería nueve veces menos brillante, y así sucesivamente.

Hooke conjeturaba en su carta que quizá la gravedad de la Tierra también disminuyera con la distancia como el brillo de la luz. Si así fuese, concluía Hooke, «la atracción siempre está en proporción doble a la distancia de los respectivos centros…», o dicho con otras palabras, que la atracción gravitatoria siempre disminuye en proporción al cuadrado de la distancia al centro de la Tierra.

Mientras leía la carta, Newton sonreía con afectación: aquel fanfarrón había tenido la suerte de dar con la verdad. Pero no importaba. Si aquel odioso hombrecillo supiera lo lejos que él ya había llegado… Newton había calculado hacía catorce años ya el resultado de aquello que Hooke estaba empezando a tantear.

En los días que siguieron (aunque había desechado la carta de Hooke como si se tratara de un juego de niños) Newton comenzó a dar vueltas a los cabos sueltos que le quedaban en sus esfuerzos de 1665 y entre ellos, y sobre todo, la siguiente pregunta: ¿Cuál es la *causa* del campo gravitatorio de la Tierra? El filósofo se daba cuenta de que el principio de razón suficiente exigía una respuesta.

Desechó la teoría del torbellino de Descartes porque, de ser cierta, la manzana del jardín habría caído *en espiral* hacia la tierra; y sin embargo, Newton había visto con toda claridad que las cosas caían *en línea recta*. Era como si el centro del objeto se viese atraído hacia el *centro* de la tierra, sin desviarse.

Llegado a ese punto, Newton comenzó a preguntarse: ¿Qué ocurriría si a la Tierra se la redujera al tamaño de una partícula diminuta, del tamaño de su centro y, de modo semejante, la manzana quedara reducida a una partícula diminuta concentrada en su centro? ¿Caería la diminuta partícula-manzana hacia la diminuta partícula-tierra? No veía razón para que no ocurriera así y de ahí obtuvo la idea que llevaría a su famosa ecuación.

Todo el mundo estaba acostumbrado a pensar que era la manzana la que caía hacia la tierra, al ser la manzana mucho más pequeña. Reduciendo la situación a dos partículas de igual tamaño se veía, sin embargo, que era imposible seguir creyendo que la partícula-manzana cayera hacia la partícula-tierra sin que esta se moviera lo más mínimo.

Era más razonable, más equitativo, suponer que, las dos partículas caían la una hacia la otra. En otras palabras, lo que nosotros denominamos gravedad *de la Tierra* no pertenece exclusivamente a la Tierra; la gravedad era la fuerza de atracción mutua entre *todas* las partículas de materia.

Estas nuevas revelaciones no descartaban la ecuación de la gravitación que Newton había calculado siendo joven, pero sí exigían alguna ligera corrección. La ecuación original estaba formulada según la idea de que la gravedad de la Tierra era una fuerza unilateral, de modo que la ecuación contenía una referencia solo a la masa del objeto que se veía atraído a la tierra; al reconocer que la gravedad es una fuerza mutua, la ecuación necesitaba una referencia explícita a la masa de la Tierra que el objeto atraía hacia sí.

Por tanto, junto con *m*, que se refería a la masa del objeto, Newton añadió una *M*, que representaba la masa de la Tierra. De esa forma, tanto objeto como Tierra ocupaban idéntico lugar en la ecuación revisada, a tono con la perfecta reciprocidad de la gravedad:

FUERZA GRAVITATORIA DE LA TIERRA

$$= \frac{\textbf{constante} \times M \times m}{d^2}$$

En otras palabras: entre la Tierra y los objetos grandes cercanos a ella, la fuerza de atracción era muy fuerte e irresistible; entre la Tierra y los objetos diminutos lejanos, la fuerza era bastante débil. En resumidas cuentas, la Tierra y cualquier otro objeto se atraían mutuamente con una fuerza cuya intensidad dependía de la distancia entre sus centros, sus respectivas masas y cierto número constante.

En los años siguientes, los experimentos científicos determinarían el valor de ese número con enorme precisión. Y además, en recuerdo del hombre que por primera vez lo tuvo en cuenta pasaría a llamarse constante gravitatoria de Newton, designada por la letra *G*. Por tanto, finalmente, la ecuación quedaría escrita en menos espacio de la siguiente manera:

FUERZA GRAVITATORIA DE LA TIERRA

$$= \frac{G \times M \times m}{d^2}$$

En los términos más generales que pudieran pensarse, la ecuación de Newton expresaba la fuerza gravitatoria entre dos objetos cualesquiera; las letras *m* y *M* podían representar las masas de la Luna y de Júpiter, o de un cometa y del Sol, o de cualquier par de cuerpos cualesquiera.

La gravedad era una fuerza de atracción que sentían mutuamente *todas* las partículas *en cualquier parte* del universo; Newton llegó a la conclusión, en resumidas cuentas, de que la gravedad era el pegamento que mantenía unido todo el conjunto.

Después de tantos siglos, la teoría concreta de Newton sobre la gravedad había pulverizado la amplia teoría de los cielos de Aristóteles. Según esta nueva visión, el universo no estaba segregado en dos reinos separados sino que solo había un universo regido no por un monarca divino sino por una ecuación gravitatoria bien terrenal.

Newton había desvelado que buena parte de lo que el universo había sido, era y sería, era el resultado de una infinidad de partículas materiales que tiraban unas de otras simultáneamente. Si el resultado de esa pelea gravitatoria les había parecido a los griegos un cosmos era sencillamente porque la *ecuación* subyacente que describía su comportamiento había resultado ser un auténtico cosmos en sí: ordenada, bella y decorosa.

En 1682, como si celebraran el notable descubrimiento de Newton, los cielos habían presentado un cometa sobre el cielo londinense. Sin embargo, no era un cometa muy brillante acaso porque Newton no estaba para muchas celebraciones.

Después de tantos años, aquel filósofo extraordinario y sin par seguía sin recuperarse de su dolorosa experiencia con la Real Sociedad. Aun estando emocionado por su descubrimiento, temía que le criticaran por él. Por ello decidió no publicar la ecuación.

Algunos años después, Newton volvió a recibir otra carta de Hooke, que en esa época era secretario de la Real Sociedad. Hooke había oído hablar de la ecuación gravitatoria de Newton y quería asegurarse de que había sido él, Hooke, el primero que había deducido la teoría del «cuadrado de la distancia»; y como prueba, le recordaba a Newton la carta que le había enviado años atrás describiendo la idea.

Newton se quedó pálido. «No le estoy agradecido por arrojar luz sobre este asunto —protestaba vehementemente en una carta a un colega—, sino tan solo por desviarme de mis otros estudios para pensar en estas cosas».

Aquel mezquino tirano intentaba acobardarle de nuevo, bufó Newton; pero no lo lograría. Esta vez respondería como lo había hecho siendo estudiante en la escuela de gramática de Grantham: derrotaría a aquel inconsciente torturador de una vez por todas.

En los años siguientes, Newton dejó a un lado sus estudios alquímicos y religiosos y se dedicó a exhumar todos los descubrimientos que había realizado. Buscó en todos sus papeles e incluso en sus cuadernillos infantiles, refinando sus conclusiones y rehaciendo sus cálculos.

Newton realizó por sí mismo todo el trabajo pero a cada paso que daba recibía los ánimos de un astrónomo llamado Edmund Halley. Después de años de vanos esfuerzos, Halley había quedado encantado de conocer la ecuación gravitatoria de Newton; gracias a ella había sido capaz, por fin, de encontrarle sentido al comportamiento de los cometas.

De hecho, al cabo de cientos de horas de búsqueda en registros históricos, Halley había llegado a la conclusión de que el reciente cometa de 1682 había sido el mismo que el que Kepler había visto en 1607 y que otros habían observado en muchas ocasiones anteriores. Utilizando la ecuación de Newton, había averiguado que el cometa estaba en *órbita* en torno a nuestro sistema planetario y que pasaba por las cercanías de la Tierra más o menos cada setenta y seis años; volvería a aparecer, según predijo, en 1758.

Se trataba de una predicción muy a largo plazo porque los astrónomos heliocentristas desde la época de Kepler habían llegado a creer que los cometas viajaban en línea recta: creían que pasaban por la Tierra una sola vez y nunca reaparecían. Halley afirmó en tono imperialista: «De aparecer el cometa según nuestra predicción, la posteridad no rehusará reconocer que el descubrimiento lo hizo un inglés».

Con la ayuda económica de Halley y con la bendición de la propia Real Sociedad, Newton llegó finalmente a confesarlo todo al mundo del que había vivido apartado prácticamente durante toda su vida. En 1687 publicó en tres volúmenes la obra de su vida, titulándola *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*).

Esta monumental publicación dejó atónitos a sus colegas ingleses y con su poderosa unión de matemáticas y experimentación transformó la filosofía natural en una *ciencia* de la naturaleza; sin embargo, seguía faltando algo. El hábil huérfano de Woolsthorpe había decidido dejar fuera de esa magna obra cualquier mención a sus ideas sobre la luz; no las publicaría hasta que no muriera el

fanfarrón de Hooke (cosa que no ocurriría hasta 1704) garantizándose así el placer de tener la última palabra.

En cierto modo, al desacreditar la idea de un universo en dos reinos segregados, la revolución científica de Newton aplastó la rebelión que Platón había iniciado dos mil años antes. Sin embargo, por otra parte, representaba la satisfacción completa del deseo de Platón de que la humanidad «abandonara el miedo supersticioso a fisgar en lo divino».

Lo que Platón no había previsto era que en el proceso de ayudarnos a desprendernos de nuestros miedos, la ciencia nos iba a ayudar a despojarnos de nuestros dioses. Newton había demostrado que la gravedad de la Tierra se extendía hasta la Luna y más allá; y que desde luego no había lugar en el universo en el que no se sintiera su influencia, por remoto que fuera.

En consecuencia, no había lugar en el universo que no estuviera corrompido y en el cual pudiera morar Dios. Se le había excluido de nuestra imagen del universo debido al alcance infinito de la gravedad. Por primera vez en la historia de Occidente, los cielos se veían completamente despejados; la perfecta existencia de Dios había quedado purgada ignominiosamente de nuestras teorías científicas.

Los históricos esponsales que Platón había organizado habían terminado en un fracaso estrepitoso: como resultado de nuestra investigación de los cielos, la ciencia se había hecho irreligiosa y la religión había dejado de ser científica. Fue una separación trascendental y aunque Newton era el principal responsable de la agitada ruptura matrimonial tuvo un sorprendente cómplice, si es que así puede llamársele.

En 1688, a los pocos meses de la publicación revolucionaria de Newton, los ingleses habían decidido que ya habían tenido suficiente con su nuevo rey. Tan solo hacía tres años que Jacobo II había sucedido a Carlos II, pero su flagrante catolicismo ya había llevado al país al borde mismo de otra guerra civil.

Para que aquello no ocurriera, los políticos ingleses de todos las facciones habían acordado un plan, que comenzó por la introducción subrepticia en el país de un príncipe holandés llamado Guillermo de Orange y de su consorte, la hija del rey protestante María II. El siguiente paso fue que el Parlamento decretara que Jacobo II ya no era rey de Inglaterra.

Como era de prever, el rey respondió recordando a Inglaterra que era rey por derecho divino, al igual que habían hecho sus antecesores. El propio Dios le había designado para que condujera al pueblo inglés y era un sacrilegio que cualquier institución secular supusiera que podía contrarrestar Su autoridad.

Sin embargo, y a la vista de que Guillermo de Orange mandaba un gran ejército y se encaminaba hacia Londres, Jacobo dio rápidamente su brazo a torcer y huyó del país. Se la llamó la revolución gloriosa porque, desde ese momento, el Parlamento dispondría de una autoridad sin discusiones para designar reyes y reinas.

Con ello el mundo occidental había comenzado a retirar a Dios de su gobierno, al igual que lo estaba haciendo de su cosmología. Política y científicamente, la influencia del reino terrenal había derrotado a la antigua autoridad del reino celestial; Dios y sus representantes ya no eran queridos ni necesitados para gobernar al pueblo inglés ni el cosmos de Newton.

El Estado se separó de la Iglesia; la ciencia se divorció de la religión. Fueron desconexiones históricas y duraderas. Incluso tres siglos después, la moderna civilización occidental mostraría los efectos como retoño de padres divorciados: sus pueblos vivirían en un mundo científico y político sin

Dios y en un mundo religioso sin ciencia: el notable legado, podría decirse, de la conjunción entre una manzana de Woolsthorpe y de un príncipe de Orange.[2]

EPÍLOGO

La década de los sesenta fue una época en la que nada parecía ir bien en Estados Unidos. Fue la época de la guerra de Vietnam, de los líderes políticos asesinados, de la violencia en las calles; fue una época de gran pesimismo.

No resultó sorprendente, por tanto, que en 1969 mucha gente creyera que la idea de ir a la Luna era imposible. Los había que eran escépticos por razones técnicas: ¿Cómo podríamos ir a un sitio que estaba a más de 400.000 kilómetros y menos aún aterrizar allí y regresar sanos y salvos?

Otros tenían dudas por motivos religiosos. Puede que la gravedad de la Tierra se extendiera al reino de los cielos, admitían, pero nunca ocurriría lo mismo con los seres terrenales: nunca pondrían su sucio pie en la Luna ni en ningún otro cuerpo celeste.

A pesar de los que dudaban, Estados Unidos había seguido adelante bajo la dirección de la Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio (NASA). La antecesora de la NASA se había fundado en 1957 inmediatamente después de que los soviéticos hubieran lanzado el primer satélite, y al cabo de diez años ya tenía muy avanzado su plan para el primer vuelo terrestre a la superficie lunar.

En el terreno político, la NASA actuaba en respuesta al reto del presidente Kennedy en su discurso de 1961 sobre el estado de la Unión: «Creo que esta nación debería comprometerse con el objetivo de colocar a un hombre en la Luna antes de que termine la década». De tener éxito, Estados Unidos se anotaría una victoria sobre el comunismo que escocería mucho en esa época de guerra fría.

Sin embargo, genética y científicamente, la NASA respondía al impulso humano irresistible de explorar lo desconocido. La agencia espacial corría para derrotar a los soviéticos, sí, pero también estaba intentando cumplir un deseo expresado por primera vez por el astrónomo Johannes Kepler en *Somnium* (Sueño) la primera obra de ciencia ficción de la historia.

Publicada póstumamente en 1634 *Somnium* describía a un muchacho que viajaba a la Luna con la ayuda sobrenatural de un demonio amistoso, conjurado por una bruja, la madre del chico. La historia era bastante increíble pero sobrevivió para infectar a otros escritores con el sueño de ir a la Luna y, sobre todo, a un francés llamado Julio Verne.

En su novela de 1865, *De la Tierra a la Luna*, Verne describió un viaje a la Luna con profético detalle. Según este popular autor, tres hombres hacían el largo viaje dentro de una enorme bala de aluminio disparada por un cañón de hierro de 275 metros de longitud situado en Tampa (Florida).

Un siglo después, la NASA planeaba enviar a tres hombres a la Luna en el interior de lo que equivaldría a una enorme bala de titanio, disparada desde una rampa de lanzamiento en Cabo Cañaveral (Florida) a ciento sesenta kilómetros al este de Tampa. Los astronautas no saldrían disparados de un cañón sino que irían en lo alto del *Saturno V*, un cohete de 110 metros de longitud alimentado por combustible líquido.

Como preparación para aquel viaje, la NASA había enviado a un grupo de astronautas, entre los que se encontraban Neil Armstrong, al observatorio Lowell de Flagstaff (Arizona) para que vieran por primera vez la Luna de cerca. Podrían haber ido a cualquier otro observatorio de Estados Unidos pero tenía un significado especial que la NASA hubiera elegido precisamente ese.

El observatorio lo había fundado en 1894 Percival Lowell, un excéntrico rico que deseaba tener un telescopio para buscar vida en Marte. Aunque nunca encontró ningún «hombrecillo verde» su observatorio se convirtió en uno de los más prestigiosos del país para estudiar el sistema solar.

Cuando se inauguró el observatorio Lowell, todo el mundo creía que el sistema solar constaba de siete planetas (además de la Tierra). Estaban los cinco que Copérnico conoció, más otros dos (Urano y Neptuno) que los astrónomos habían descubierto desde entonces.

Además, los astrónomos habían descubierto que la órbita de Urano no era perfectamente elíptica, violando así una de las leyes de Kepler. Aquello había llevado a muchos (entre ellos, a Lowell) a atribuir esas aberraciones del tirón gravitatorio a un planeta cercano aún sin descubrir.

Sin más armas que la ecuación gravitatoria de Newton y su flamante telescopio, Lowell había predicho la localización probable de aquel hipotético planeta. No vivió para verlo, pero en 1930 su ayudante Clyde Tombaugh había descubierto el planeta a solo seis grados del lugar que había predicho Lowell; a renglón seguido, los astrónomos lo llamaron Plutón.

En 1969 la ecuación de Newton tuvo que representar un papel igualmente crucial en el envío de astronautas a la Luna. Lo cierto es que si la NASA tenía éxito en su misión sería solo porque Newton nos había proporcionado el medio matemático para descubrir el camino a la Luna.

Utilizando la ecuación de Newton los astrónomos habían calculado durante años la órbita lunar con tanta precisión que los ingenieros de la NASA estaban ya en condiciones de saber exactamente en qué lugar estaría en cada momento su blanco lunar. Además, calculando cómo disminuía la gravedad de la Tierra en todos los puntos de la ruta a la Luna, la NASA había sido capaz de determinar qué tamaño de cohete se necesitaba: resultó que hacía falta uno ¡dos veces más alto que la estatua de la Libertad!

Además, y para proporcionar a sus cohetes un 5 por ciento más de impulsión, la NASA había elegido desde un principio los lanzamientos desde Cabo Cañaveral. En esa zona, cercana al ecuador, el efecto de giro terrestre se notaba más que en ningún otro lugar del país; es decir, que los objetos recibían la mayor fuerza centrífuga cerca del ecuador porque el ecuador era la zona más alejada del eje de la Tierra. Por eso, cuando un cohete se lanzaba desde Cabo Cañaveral era como si se lo lanzara desde el borde de un tiovivo que girara a toda velocidad.

Para aprovechar al máximo este impulso terrestre, la NASA prefería lanzar los cohetes hacia el este, *a favor* del giro de la Tierra y no en contra. Afortunadamente, lo podían hacer con seguridad porque justamente al este de Cabo Cañaveral solo se encontraban el océano Atlántico y unas islas poco pobladas.

Tras aceptar el reto lanzado por el presidente Kennedy, los ingenieros se dieron cuenta de que no sería una cosa tan sencilla como disparar un cohete apuntando hacia la Luna. Por ello, para calcular la mejor ruta hacia la Luna, la NASA había creado la División de Análisis y Planificación de la Misión (MPAD) con sede en su Centro de Control de la Misión de Houston (Texas); en 1969, en su punto culminante, el MPAD disponía de casi un millar de científicos e ingenieros.

La suya era una tarea muy complicada porque exigía la aplicación de la ecuación de Newton a tres objetos de forma simultánea (Tierra, Luna y nave espacial) y no solamente a dos. Fue lo que los científicos denominaron *problema de los tres sólidos*: conforme la nave espacial fuera avanzando, irían cambiando constantemente sus respectivas distancias a la Luna y a la Tierra y, en consecuencia, cambiarían constantemente los tirones gravitatorios entre ella y los otros dos cuerpos.

Llevar un control exacto y predecir el efecto de red que originarían los tres objetos tirando unos de

otros era imposible de calcular. Al aplicar la ecuación de Newton a problemas de tres sólidos lo máximo que se podía hacer era dar una respuesta *aproximada* y tal cosa ni siquiera se habría podido hacer sin ayuda de los ordenadores.

A la altura del reto, la NASA había provisto a los ingenieros de la MPAD con ordenadores IBM de última generación. Ocupaban al completo el primer piso del Centro de Control de la Misión y en los últimos años anteriores al lanzamiento, funcionaron veinticuatro horas al día, siete días por semana y cincuenta y dos semanas al año; la víspera del primer intento de la NASA de aterrizar en la Luna, ingenieros y ordenadores calcularon la ruta más segura y más barata para hacerlo.

Los astronautas viajarían a la Luna y volverían de ella por una ruta que parecería un ocho; resultó que todas las demás formas eran o más peligrosas o gastaban más combustible. Además, siguiendo esa sencilla y suave trayectoria, los astronautas podrían girar en torno a la Luna y regresar sanos y salvos a la Tierra en caso de que hubiera que abortar la misión en el último momento; la ecuación de Newton predecía que en tal emergencia no se requeriría combustible porque el tirón gravitatorio de la Luna haría orbitar automáticamente a la nave espacial lanzándola luego a la pista de retorno de aquel ocho previsto.

El 16 de julio, por la mañana, los ingenieros de la NASA creían haber hecho todo lo necesario para demostrar que los escépticos se equivocaban. Tenía absoluta confianza en sus cálculos; sin embargo, llegado el momento crítico, contuvieron la respiración cuando los tres astronautas ascendieron en medio de una explosión llameante y de henchidas nubes de vapor.

El cohete gigante avanzó centímetro a centímetro, luchando contra la implacable fuerza que nos había mantenido cautivos en esta Tierra durante toda la existencia de nuestra especie. Mientras el cohete se abría paso atronadoramente en medio de las nubes, empezó a girar como una bala; ya hacía tiempo que los científicos habían descubierto que imprimiendo un giro a un proyectil a gran velocidad se impediría que cabeceara y se saliera de su curso… la misma razón física que mantiene erguida la peonza infantil que gira.

En un principio, los astronautas Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins avanzaron hacia la Luna a 40.000 kilómetros por hora, la necesaria para liberarse por completo de la Tierra. Durante unos días, la lucha contra la gravedad terrestre fue como viajar cuesta arriba. Sin embargo, a una distancia equivalente a dos terceras partes del camino, a 305.000 kilómetros de la Tierra, la nave espacial empezó a acelerarse como si fuera cuesta abajo: los astronautas habían llegado al punto en el que la gravedad de la Luna era mayor que la de la Tierra.

El 20 de julio, a las 3.18 de la tarde (hora de Houston), mientras más de 600 millones de personas observaban cómo se posaba el módulo lunar en el mar de la Tranquilidad, una planicie lunar salpicada de rocas, los ingenieros de la NASA dejaron escapar un ruidoso suspiro de alivio: el *Somnium* se había hecho realidad. Al poco rato, mientras el mundo veía a Neil Armstrong dar su primer paso sobre la Luna, esos mismos ingenieros de la NASA lanzaron gritos de júbilo. «Es un pequeño paso para el hombre —decía Armstrong— pero un paso de gigante para la humanidad».

De haber vivido, Newton sin duda habría gritado de júbilo junto con los hombres y las mujeres que habían aprovechado tan bien su ecuación. Fue un momento histórico hecho posible por una ecuación histórica.

Para el niño póstumo de Woolsthorpe, además, fue un honor póstumo adecuado al hombre que en sus últimos años de vida descubrió finalmente el amor familiar que había anhelado tan desesperadamente. Después de haber descubierto la ecuación de la gravitación universal, Newton fue

elegido presidente de la Real Sociedad, fue nombrado miembro del Parlamento y hecho caballero por la reina Ana, hija del último monarca celestial de Inglaterra, Jacobo II.

Durante esa época, Newton se había codeado con la aristocracia y recibido a invitados de la alta sociedad en su elegante casa londinense. Nunca se casó, pero actuaba como señora de la casa una sobrina suya llamada Catherine Barton. Su belleza y su inteligencia llegaron a seducir incluso al filósofo y autor teatral francés François Marie Voltaire.

El mundo se había convertido en la familia de Newton con unas pocas y notables excepciones. Dejando descansar a Hooke, literalmente hablando, Newton se había metido en peleas con un filósofo alemán llamado Gottfried Wilhelm Leibniz que reclamaba el reconocimiento de haber sido el inventor del cálculo. (Véase «Entre una roca y una dura vida»).

Además, y durante esa época, había reflexionado sobre su más famosa ecuación y sus magníficas consecuencias, admitiendo que «hemos explicado el fenómeno de los cielos… por el poder de la gravedad, pero no hemos hallado la causa de este fenómeno».

En último extremo, había insistido Newton, Dios era la causa de todo. Newton creía viva y fielmente que «este elegantísimo sistema de Sol, planetas y cometas solo puede originarse en el consejo y dominio de un ente inteligente y poderoso».

Aristóteles se había equivocado al creer que Dios estaba confinado en un reino celestial separado de la Tierra, era la conclusión de Newton, y ahora era igual de erróneo que sus contemporáneos supusieran que como la gravitación omnipresente «corrompía» aquellos perfectos dominios, Dios quedaba expulsado fuera del universo.

Al contrario, el Creador siempre había estado, estaba y estaría en todas las partes de Su Creación, hasta en la mínima partícula de las manzanas y de la tierra. «Es eterno e infinito, omnipotente y omnisciente —sostuvo apasionadamente el anciano científico de la naturaleza—; dura desde la eternidad hasta la eternidad, y está presente desde lo infinito hasta lo infinito».

Newton murió en la madrugada del 20 de marzo de 1727 y fue enterrado en la abadía de Westminster, la iglesia en la que se ha coronado a casi todos los monarcas desde Guillermo el Conquistador y en la que se entierra solo a los más famosos entre los famosos. Su féretro lo portaron nobles: tres duques, dos condes y el Lord High Chancellor.[3]

Fue el primer científico honrado tan generosamente y, sin embargo, de haber estado vivo para pavonearse de ello, con toda seguridad no lo habría hecho. Newton había muerto como hombre satisfecho de que todos los fanfarrones del mundo estuvieran por fin en su sitio gracias a la gran estima y al gran afecto que el mundo le dispensaba. Aquello le había permitido ser humilde. «Si he visto más allá —dijo en una ocasión—, es porque me he aupado a hombros de gigantes».

Afortunadamente para nosotros, ha sido Newton el que nos ha aupado en este camino. Con su maravillosa ecuación nos ha llevado a hombros, en *sus* hombros, y en 1969, cuando Neil Armstrong caminó por el reino celeste nos quedamos atónitos por lo que vimos y lo que sentimos.

La experiencia fue inmensa y divina, y sin embargo, inquietante. Habíamos conquistado los cielos pero en ese año en que vimos por nuestros propios ojos el vasto vacío del cosmos puramente científico, nos sentimos más pequeños y solos que en ningún otro momento de la historia humana.

ENTRE UNA ROCA Y UNA DURA VIDA

Daniel Bernoulli y la Ley de la Presión Hidrodinámica

El destino tiene más recursos que el autor de ficción más imaginativo.

FRANK FRANKFORT MOORE

Al volar la paloma mensajera por encima de las casas, Daniel Bernoulli, de treinta y cuatro años, se detuvo a observar. Qué maravilloso sería volar, pensaba, y con qué rapidez era capaz de desplazarse un pájaro de aquí para allí; su propio regreso a casa desde Rusia le había costado dos meses enteros viajando en una diligencia tirada por caballos.

Al volverse y empezar a recoger el correo, el corazón de Bernoulli se aceleró al ver una carta procedente de París; supuso que, sin duda, contendría los resultados del concurso. Lo raro era que iba dirigida a él y a su padre Johann; los dos habían participado en la competición pero con ensayos diferentes.

Todos los años, la Academia de las Ciencias francesa retaba al público a resolver un problema técnico de cierta importancia. No era el único concurso de ese tipo (en diversos países europeos había instituciones científicas que hacían lo propio) pero sí era uno de los más antiguos y prestigiosos del mundo. Durante los anteriores sesenta y ocho años, desde su fundación en 1666 por el rey Luis XIV, docenas de ingenieros, matemáticos y legos en la materia habían rivalizado por el prestigio y el dinero que eran el premio del ganador.

Hasta ese momento, el joven Bernoulli había participado en el concurso un total de cuatro veces y ya había ganado una. Estaba bien dotado en todos los aspectos de la matemática pero le gustaba especialmente abordar problemas relacionados con fluidos. Desde un punto de vista científico, los fluidos no abarcaban solamente todo tipo de líquidos sino también los gases y cualquier otro material flexible que no fuera completamente sólido.

Los fluidos fascinaban al matemático que había en Bernoulli porque eran suficientemente complicados como para ofrecer un reto y suficientemente sencillos como para ser escrutables. Además los fluidos formaban tal parte de la vida cotidiana que parecía útil y relevante estudiar su comportamiento… y parecía que era buen momento para hacerlo.

En el siglo XVII, Isaac Newton había descrito con éxito el comportamiento de los objetos *sólidos*. Y en el siglo XIX los científicos descubrirían las leyes de la genética, de la evolución y de la psicología que regían la actividad de los *seres humanos*. En medio de esos dos siglos, quedaba el siglo de Bernoulli, una época destinada a ser de los fluidos cuya complejidad estaba a medio camino entre la roca sólida y la existencia humana.

Bernoulli siempre había soñado con convertirse en el Newton de su época, con ser el primero en descubrir las leyes que gobernaban el movimiento de los fluidos. A eso se debía que, con el paso de

los años, se hubiera propuesto participar en el concurso de la Academia francesa siempre que tratara un problema de fluidos: era una oportunidad valiosísima de ejercitarse y de mostrar sus precoces talentos.

En ese momento, al abrir el sobre, suspiró profundamente: acababa de regresar a Basilea después de haber pasado ocho años en la Academia de las Ciencias rusa. Qué buen regalo de vuelta a casa sería que le declaran ganador de aquel año.

Después de sacar la carta del sobre, Bernoulli la desplegó y empezó a leerla. Se trataba, como había sospechado, del anuncio de los resultados del concurso de ese año, pero lo que vio le dejó boquiabierto.

Durante el resto de la tarde, el joven aguardó impacientemente la llegada de su padre. Había decidido no buscarle en la universidad sabiendo como sabía que el famoso profesor Johann Bernoulli solía enfadarse con cualquiera que osara perturbarle mientras trabajaba.

Cuando esa noche llegó su padre, el joven Bernoulli le saludó con la carta, sin decir ni palabra de lo que contenía. Con curiosidad, el profesor de cara adusta cogió la carta y leyó por sí mismo que la Academia había decidido conceder el primer premio de ese año al padre y al hijo.

El joven Bernoulli, que ya no podía contener más su excitación, supuso que enseguida padre e hijo se abrazarían con regocijo; pero no. En cuestión de segundos el joven Bernoulli se dio cuenta de que algo raro pasaba.

Su padre reaccionó no con un grito de júbilo sino con un silencio carente de alegría. Y, lo peor de todo, una vez que terminó de leerla, arrugó la carta con la mano y miró furibundo a su hijo, soltando un borbotón de terribles acusaciones.

Al principio, Bernoulli se vio paralizado por la confusión. Pero luego empezó a comprender lentamente la razón de tan horroroso giro de los acontecimientos.

Bernoulli padre, que hacía años había introducido a su hijo en las matemáticas y le había enseñado muchas de las ideas y técnicas básicas que subyacían a los respectivos ensayos premiados, estaba enfurecido al comprobar que al joven se le consideraba ahora como si estuviera a su misma altura. Acusaba a la Academia de no distinguir al maestro del discípulo y se mofaba de que su hijo no reconociera adecuadamente su valía.

Conforme se intensificaba la ira de su padre, también Bernoulli fue enfadándose. Habiendo pasado lejos de casa los últimos ocho años no solo había practicado y perfeccionado las ideas y las técnicas que su padre le había enseñado en primer lugar, sino que también él las había acrecentado a su manera, sin ayuda de nadie.

Era como si hubiera aprendido de su padre el manejo de la maquinaria agrícola para luego, por sí solo, ponerse a arar y a sembrar su propio campo; ahora, como no podía ser menos, estaba cosechando la recompensa a su propio esfuerzo, a su propia habilidad. Y aún más: ¡el joven le espetó sin recato que su ensayo era mejor!

Conforme caía la noche y la ciudad se aquietaba, aumentaban los odiosos ruidos que salían de casa de los Bernoulli. Los dos hombres se chillaban, dándose la oportunidad de ventilar viejas y reprimidas rencillas. Cuando aquel amargo enfrentamiento llegó a su clímax, la disputa originaria por el premio de la Academia ya había quedado sepultada desde hacía un buen rato por las apasionadas quejas sobre la falta de respeto filial y la envidia paterna.

Finalmente, el mayor de los Bernoulli exigió que su desagradecido retoño abandonara la casa, gritando que no podía soportar vivir con tamaño bellaco. Bernoulli, en medio de aquella tensión

creciente, había temido que se llegara a eso. En ese momento, al oír cómo le expulsaban, lamentó muchas de las cosas que le había dicho a su padre.

El joven Bernoulli siempre se había mostrado orgulloso de descender de una familia de distinguidos matemáticos. Era hijo de un hombre al que se consideraba, sin duda, *el más renombrado* matemático vivo y sobrino de otro matemático de parecida fama. De hecho, los Bernoulli llevaban dominando las matemáticas los últimos cincuenta años, algo que nunca se había visto y quizá nunca volvería a verse.

A Bernoulli le entristeció que aquel viejo árbol familiar de repente no fuera un refugio demasiado bueno; temía verse apartado de sus raíces, puede que para siempre. Sin embargo, seguía estando demasiado furioso como para disculparse o para dormir bajo el mismo techo que aquel hombre al que llevaba tanto tiempo admirando pero del que ahora recelaba.

Tardó menos de una hora en recoger sus pertenencias, y al salir por la puerta se detuvo para mirar atrás. Allí había nacido y echaría de menos vivir allí… y a decir verdad, echaría de menos las animadas conversaciones que había tenido últimamente con su padre sobre las últimas teorías relativas a los fluidos.

En ese momento más que nunca, el trabajo con los fluidos parecía mucho más atractivo para Bernoulli que el trato con la gente. Por lo menos, con los fluidos había cierta esperanza de que se comportaran de manera predecible. Por el contrario, el comportamiento de las personas parecía irremediablemente insondable; por ejemplo, pensó Bernoulli encogiéndose de hombros ¿quién podría haber predicho lo que había ocurrido esa noche?

Mientras el joven salía a la fresca oscuridad del otoño, se preguntó dónde pasaría la noche. Lamentablemente, para Bernoulli era solo el principio de lo que sería un continuo y trágico declive en su suerte personal, aunque no terminaría en la ruina total.

En el curso de su vida, el joven matemático iba a encontrar una ecuación mágica que revelaría el secreto del vuelo. Como consecuencia, su reputación científica se elevaría… lo mismo que la mente, el cuerpo y el espíritu de la especie humana.

VENI

A diferencia de los filósofos medievales que les habían precedido, los del Renacimiento no se sentían inclinados a acudir a explicaciones sobrenaturales acerca de los desconcertantes fenómenos que veían y escuchaban a su alrededor. Por el contrario, volvieron a adoptar gradualmente aquella actitud griega antigua para la que todo misterio existente en el mundo natural tenía una explicación *prosaica*.

Y ciertamente los estudiosos renacentistas llegaron al punto de decir que conociendo las leyes racionales de la naturaleza serían capaces de *predecir* el futuro. Por ejemplo, los astrónomos del siglo XVI argumentaban que con solo conocer las leyes científicas de los cuerpos celestes, podrían predecir fácilmente las órbitas de los planetas.

Los *astrólogos* ya pretendían tener la capacidad de profetizar el *destino* de las personas; pero la ciencia veía con sospecha su metodología mística, aun basada en observaciones astronómicas fiables. Algún día, afirmaban las lumbreras científicas, descubriendo las leyes científicas *bona fide* de la naturaleza humana serían auténticamente capaces de predecir el comportamiento humano.

Sin embargo, conforme avanzaba el siglo XVII la ciencia fue hallando razones tanto para la

esperanza como para la desesperanza de que alguna vez se cumpliera aquel atrevido objetivo. Por un lado, en 1687, cuando Isaac Newton publicó los asombrosos descubrimientos que regían el comportamiento de los objetos inanimados, parecía seguro que pronto se harían otros descubrimientos similares en relación con el comportamiento de los objetos *animados*.

Por otra parte, la pintoresca saga de una familia europea especialmente destacada, los Bernoulli, parecía un mal presagio para la gran ambición de la ciencia. Ciertamente, los Bernoulli parecían demostrar que así como las personas pueden ser predecibles en algunas cosas, era una solemne estupidez la esperanza de que pudiera adivinarse científicamente su destino de manera general.

La historia pendenciera y excéntrica de los Bernoulli comenzó en 1622, cuando Jacob el Viejo huyó a Basilea, en Suiza. Había nacido en Bélgica y era un hugonote intransigente perseguido sin piedad por la mayoría católica.

En todo el mundo era renombrada la reputación de Basilea por su tolerancia religiosa; de hecho, el propio jefe espiritual de los hugonotes, Juan Calvino, había emigrado allí desde su Francia natal después de la tumultuosa Reforma del siglo XVI. Como Martín Lutero anteriormente, Calvino había creído en el gran plan de Dios en el que cada uno de nosotros tiene su papel predeterminado.

Por ello, a ojos de Jacob Bernoulli, su *destino* fue prosperar en Basilea, casarse tres veces y tener un solo hijo. Hacia el final de su vida, el anciano patriarca lamentaba no haber tenido una mayor descendencia, pero no hubiera tenido que preocuparse: su único hijo Nikolaus estaba destinado a engendrar una extraordinaria dinastía, tan tempestuosa como dotada de talento.

Después de casarse, Nikolaus y su esposa tuvieron una docena de hijos de los cuales solo cuatro sobrevivirían hasta llegar a la edad adulta. Dos de los supervivientes se convertirían en matemáticos de primer orden (Jakob, nacido en 1654, y Johann, nacido en 1667) aunque en un principio su padre no lo viera así.

Siendo jóvenes sus hijos, Nikolaus estaba seguro de que el reflexivo talento de Jakob significaba que se convertiría en teólogo, y que las habilidades naturales de Johann indicaban que se convertiría en comerciante. En consecuencia, y actuando según esa creencia, el devoto hugonote exigió que cada hijo se preparara para su papel predeterminado en la vida.

Fingiendo obedecerle, Jakob se fue a la Universidad de Basilea para obtener un título de filosofía y una licenciatura en teología. Pero a escondidas prosiguió sus auténticas aficiones, la física y las matemáticas. «Estudio las estrellas —confesaba en su diario— contra la voluntad de mi padre».

Trece años más joven que Jakob, Johann se comportó sumisamente. Aceptó entrar de aprendiz en el próspero negocio familiar de especias y medicinas, pero terminó por hacerlo tan mal que su contrariado padre se vio obligado a rectificar su premonición originaria.

Un día Nikolaus anunció que el plan de Dios ya estaba más claro para él: Johann estaba destinado a ser médico. Era una profesión que seguía estando relacionada con el negocio familiar y que le proporcionaría un buen medio de vida.

Obedientemente, el joven Johann, de dieciséis años, ingresó en la Universidad de Basilea y se sacó su título de médico. Sin embargo, durante ese tiempo conspiró con su hermano mayor Jakob para aprender el lenguaje de los números. «Me he dedicado ahora a las matemáticas —reconocía el adolescente Johann en su diario—, lo cual me produce una alegría especial».

Por casualidad, la conversión clandestina de Johann tuvo lugar en la época en que el matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz publicó un escrito notabilísimo en el que anunciaba su descubrimiento del cálculo. Era un tipo nuevo de matemáticas que había desarrollado

independientemente (aunque no lo había publicado) el inglés Isaac Newton.

Impreso en 1684, el artículo de Leibniz no provocó una respuesta inmediata, sencillamente porque muy poca gente en el mundo podía comprenderlo. El autor, con su arrogancia característica, no había hecho muchos esfuerzos para explicar su descubrimiento, se supone que porque deseaba que la gente le creyera mucho más listo de lo que era.

Tampoco los hermanos Bernoulli fueron capaces de entender demasiado el artículo de Leibniz, a pesar de sus denodados esfuerzos. Llegaron a escribir al gran matemático rogándole que les ayudara, pero ni siquiera recibieron respuesta.

Sin desalentarse persistieron hasta que un día, como por arte de magia, Jakob entendió todo de repente. Luego, compartió su epifanía con Johann de modo que pudieran explorar conjuntamente las minucias sutiles del monumental logro de Leibniz.

Todo se basaba en una cosa llamada lo «infinitesimal», según explicaba Jakob, una pizca imaginaria tan infinitamente pequeña que carecía de complejidad alguna; era más pequeña que la mota de pintura más diminuta de cualquiera de las variadas obras maestras de Vermeer.

Ahí se hallaba la bola de cristal que los filósofos habían estado anhelando tanto tiempo: reduciendo los procesos complejos a sus partes infinitamente diminutas, infinitamente simples, el cálculo de Leibniz dio a la ciencia un modo de predecir lo impredecible… incluso, quizá, el comportamiento humano.

Con el cálculo, según Leibniz, el aparente proceso impredecible de seleccionar un ganador al azar (fuera al arrojar un dado o sacando un número) podía trocearse matemáticamente en una secuencia de sucesos infinitamente simples, cada uno de los cuales era fácilmente predecible. Finalmente, sumando sencillamente los resultados de esos sucesos infinitesimales, se podía adivinar el resultado del proceso al completo.

Las novedosas matemáticas de Leibniz cautivaron instantáneamente a aquellos hermanos Bernoulli de formación calvinista, ya que parecía confirmar su creencia en la predestinación. Si Dios sabía por anticipado lo que sería el futuro de cada cual, entonces el cálculo era la técnica que había que usar para leer la mente de Dios.

Durante tres años, Jakob y Johann lucharon emocionados y en secreto para aumentar su fluidez en aquellas matemáticas nuevas y maravillosas; luego, para sorpresa suya, recibieron una tardía respuesta de Leibniz. Le contestaron de inmediato y los otrora teólogo y comerciante le comunicaron exultantes sus progresos. Desde ese momento, disfrutaron del raro privilegio de mantener regular correspondencia con el elevado codescubridor del cálculo.

Muchísimo menos gozoso fue para ellos el día en que su padre descubrió su conducta engañosa; inmediatamente Nikolaus Bernoulli les exigió que se buscaran empleos bien remunerados. Ya no le importaba qué empleos fueran, gritó, pero no tenía en absoluto intención alguna de sufragar pasatiempo tan inútil como las *matemáticas*.

Al poco tiempo, y a pesar de las invectivas de su padre, Jakob fue contratado como profesor de matemáticas en la Universidad de Basilea; en ella, y en años venideros, se haría famoso por su éxito en el uso del cálculo para la resolución de complicados problemas en todos los campos conocidos de la ciencia, desde la química y la cosmología hasta la ingeniería y la economía. Con todo, a lo largo de su actividad, se demostró un pensador lento y metódico: la proverbial tortuga de la famosa fábula de Esopo.

Comparado con él, el hermano menor Johann se convirtió en la liebre de la fábula, un prodigio

matemático igual de listo que rápido. En 1691 viajó a París para guiar a los matemáticos franceses en el uso del cálculo, entre los cuales se hallaba nada menos que el marqués Guillaume de l'Hôpital, el hombre más dotado de Francia para los números.

A cambio de 300 libras «concédame a ratos algunas horas de su tiempo para trabajar en lo que a mí me parezca» —le había propuesto el marqués—, y también para «comunicarme sus descubrimientos… [pero] no a otros». Esta última petición había preocupado a Johann pero sin embargo se había plegado a ella; necesitaba el dinero y, además, el marqués parecía un hombre honorable.

Estando en Francia, Johann se convirtió en el discípulo modelo de la nueva matemática, erigiéndose en el defensor más arrogante y hablador ante las crecientes acusaciones de que aquel tal Isaac Newton de Inglaterra fuera el primer descubridor del cálculo y no el tal Leibniz de Alemania; después de todo, como señalaba aquel celoso joven, Newton había publicado su versión del cálculo en 1687, tres años *después* de Leibniz. (*Véase* «Manzanas y naranjas»).

«Cuando se declaró en Inglaterra la guerra al señor Leibniz sobre el honor de la invención primera del nuevo cálculo de lo infinitamente pequeño —recordaría más adelante un inmodesto Johann— solo yo, a semejanza del famoso Horacio Cocles,[4] mantuve a raya en el puente al ejército inglés al completo». La discusión seguiría durante años, pero tuvo el inmediato efecto de lanzar la carrera profesional de Johann, lo mismo que su ego, habida cuenta de que su nombre se mencionaba por todas partes a la par que el de Leibniz.

En público, Jakob disfrutaba de la creciente fama de Johann en el extranjero, recordando a todos en Basilea que había sido el mentor de su hermano menor. Sin embargo, y en privado, Jakob fue poniéndose cada vez más celoso de la amistad de Johann con Leibniz y empezó a preocuparse de que su hermano menor, con tanto pavoneo, resultara ser mejor matemático que él.

En 1695, y con el fin de estar más cerca de su casa, el errante Johann solicitó un puesto de profesor en la Universidad de Basilea. En circunstancias normales, aquel niño prodigio universal hubiera sido admitido sin más; pero tras las bambalinas y gracias a su amistad con los miembros del senado académico de la universidad, Jakob negoció que se rechazara la solicitud.

Cuando Johann supo de la traición de su hermano, quedó descorazonado y furioso. Pero su venganza llegó rápida y dulcemente, cuando Christiaan Huygens, el científico vivo más importante de Holanda, le invitó a convertirse en presidente del departamento de Matemáticas de la Universidad de Groningen.

Desde ese momento, la relación entre los hermanos Bernoulli se deterioró rápidamente; se dedicaron a minimizar las proezas matemáticas del otro, primero en privado, luego en público, en las páginas de la prestigiosa revista *Acta Eruditorium* (es irónico que el título significara precisamente «Obras de los eruditos»). Los hermanos se lanzaron pullas uno a otro en letra impresa durante cuatro años consecutivos hasta que, por fin, en 1699, el editor de la revista, disgustado, puso fin a la pelea.

Sin embargo, siguió aquella guerra amarga con insultos pronunciados en las cartas a los colegas y en billetes de mano que circularon por toda Europa. Y así, mientras el resto del mundo se reunía para celebrar el final del siglo XVII, Jakob y Johann se encontraban tan separados fraternalmente como lo estaban geográficamente sus respectivas universidades.

Para cualquiera habría sido difícil creer que los belicosos hermanos Bernoulli fueran devotos hombres de familia, pero efectivamente lo eran. Jakob, de cuarenta y cinco años, estaba casado y tenía dos hijos. Padre y marido adorable, Johann, de treinta y dos años, también tenía dos hijos y su esposa

estaba a punto de dar a luz al tercero.

Ocurrió antes de que transcurriera un mes del nuevo año, el 29 de enero: Johann y su esposa fueron padres de un nuevo hijo al que llamaron Daniel. Aunque incluso para un hugonote fuera un poco pronto para hacer predicciones, la historia estaba a punto de repetirse; fuera por destino o por azar, aquel recién nacido iba a seguir los pasos de su padre y de su tío en más de un sentido.

Cinco años después del nacimiento de Daniel, Johann decidió a regañadientes regresar a Basilea, para estar cerca de su suegro. El anciano estaba enfermo y reunirse con su hija al cabo de aquellos diez largos años era lo único que podía curarle. «Porque no podemos responder en la eternidad de nuestra tozudez ante Dios —había respondido un resignado Johann— si pecamos contra nuestros padres acelerando su muerte».

De camino a Basilea, le llegó a Johann la noticia de que Jakob había muerto de tuberculosis. Aunque era una manera horrible de que terminara la rencorosa relación entre los hermanos, el endurecido Johann la consideró como una forma de apuntarse la victoria final. «Esta noticia inesperada me dejó desconcertado —recordaría más tarde con toda desfachatez— y enseguida se abrió paso en mis pensamientos… la idea de que podría suceder a mi hermano en su puesto».

Al poco de su llegada a Basilea, Johann empezó a intrigar para el puesto vacante de profesor y lo obtuvo en menos de dos meses. Cuando entró en el antiguo despacho de su hermano, sintió un poco de remordimiento pero en conjunto se sentía suficientemente justificado por haber obtenido, al fin, el puesto de la universidad que debido a la actuación de su hermano le había sido negado una década antes.

Esta mudanza inesperada de la familia a Basilea dejó en el joven Daniel unos pocos recuerdos preciados de la estancia en los Países Bajos, entre ellos el de los molinos de viento. Buena parte del país queda bajo el nivel del mar de modo que los holandeses utilizaban molinos por todas partes para extraer el agua de sus ciudades y sus campos.

Daniel atesoraba también memorables imágenes de cometas en forma de rombo. Se trataba de un invento relativamente reciente pero muchos niños holandeses habían descubierto con qué facilidad y alegría volaban las cometas en los fuertes vientos que soplaban desde el mar del Norte.

La vida en Basilea era muy diferente, como descubrió el joven Bernoulli, pero en algo las cosas seguían siendo las mismas. A su padre no le gustaba que le contradijeran, de modo que se preocupaba de no aparecer nunca como hijo desobediente o irrespetuoso.

Por ejemplo, no se mostró en desacuerdo ni se quejó el día en que su padre le anunció que él, Daniel, estaba destinado a casarse con la hija de cierto comerciante rico. Ni tampoco puso objeciones cuando su padre decretó que iba a convertirse en comerciante; irónicamente, su padre deseaba (al igual que su padre había deseado para *él*) que su joven hijo prosperara convirtiéndose en algo más que un matemático sin dinero.

Sin embargo, secretamente, Daniel Bernoulli no era tan tratable como aparentaba. Por un lado, no estaba en absoluto seguro de que fuera a casarse con aquella chica; eso lo decidiría él cuando llegara el momento. Y además, como si lo llevara en la sangre de los Bernoulli, le fascinaban las matemáticas y engatusó a su hermano mayor Nikolaus II para que le guiara.

Los ojos de Daniel Bernoulli se abrieron como platos cuando supo del cálculo. Le fascinó igualmente descubrir las diversas maneras en que lo habían usado su padre y su tío para explicar sutiles cuestiones sobre el mundo cotidiano como, por ejemplo, ¿de qué forma tiene que ser una pista de esquí para que produzca la máxima velocidad en el descenso?, o ¿por qué la concha llena de

compartimientos de un nautilus tiene la forma de una espiral perfecta?, o ¿por qué son siempre redondas las pompas de jabón?

El joven también se quedó sorprendido de saber que Isaac Newton, a quien su padre calumniaba incansablemente, había descubierto recientemente las sencillas leyes del movimiento de los sólidos, cosa en la que todos los científicos anteriores habían fracasado a pesar de dos mil años de intentos. El logro de Newton era un logro heroico que conmovió algo muy profundo en la mente y en el espíritu de Bernoulli.

Como había asimilado durante sus años de formación en Holanda parte de la famosa preocupación del país en relación con el agua, Daniel Bernoulli se preguntó si las leyes de Newton serían aplicables a los fluidos. Lo dudaba intuitivamente (tan evidente era la diferencia de los fluidos con los sólidos) pero intelectualmente no estaba en condiciones de resolver la cuestión, o por lo menos aún no.

Mientras Daniel continuaba estudiando en secreto a Newton, prosiguió la implacable denigración pública que su padre hacía del alabado inglés. De hecho, pronto llegó un punto en el que el mayor de los Bernoulli necesitó ayuda para atender a todos los frentes de batalla.

En un primer momento, reclutó la ayuda del primo de Daniel, Nikolaus I, y de su hermano Nikolaus II, pero luego pidió la ayuda del propio Daniel. El joven puso pegas, haciendo ver que no le interesaba aquella batalla verbal de su padre aunque lo cierto era que había llegado a admirar a Newton y esperaba convertirse algún día en alguien como él.

Fue la primera vez que el joven de trece años desafiaba abiertamente a su padre. Sin embargo, lejos de enfadarse, el despótico profesor Bernoulli solo se mostró levemente irritado y hasta cierto punto confirmado en su idea de que su hijo, definitivamente, no estaba destinado a convertirse en matemático.

Sin embargo, ese mismo año se le hizo igualmente claro que su hijo no estaba destinado a convertirse en comerciante. Después de intentar por dos veces colocarse de aprendiz en el negocio farmacéutico, el joven Bernoulli terminó por fracasar del mismo modo rotundo que había fracasado su padre una generación antes.

Después de aquello, Daniel Bernoulli decidió dejar de lado su pretensión de cumplir las ideas cuasi astrológicas de su padre sobre lo que Dios esperaba de él… entre ellas el asunto de convertirse en comerciante, de casarse con una novia que le habían elegido y de la charada a-matemática que ya llevaba representando varios meses. En consecuencia, el joven le dio a su padre la nueva y le pidió permiso para seguir adelante con su amor por los números.

En esta ocasión, la severa reacción de su padre se ajustó más a lo esperado. El joven *podía* seguir con sus estudios matemáticos, se burló de él el viejo Bernoulli, pero hacerse matemático *profesional* estaba absolutamente fuera de lugar; por el contrario, decretó que su hijo se convirtiera en médico.

La única parte de aquella reganiña que el joven oyó con claridad fue la que se refería a su permiso para seguir con sus intereses matemáticos. Por lo que se refería al resto, obedecería a su padre, bien que sin entusiasmo, porque no veía mal alguno y sí incluso posibles ventajas en adquirir formación de médico.

Durante los años siguientes, Daniel Bernoulli asistió a la universidad mientras en casa le enseñaba su paciente y amable hermano mayor, Nikolaus II. Lo cual solo estrechó su relación, que ya era cálida y afectuosa como la que en tiempos existiera entre otros dos hermanos: su padre y su tío.

Con el tiempo, y una vez que se hizo evidente que el interés del joven Bernoulli no era una mera afición pasajera, su infeliz padre se ablandó y se ofreció a darle clases él mismo. Era un raro honor

que le enseñara cálculo el mismísimo hombre al que Leibniz había considerado su amigo más íntimo; desgraciadamente, también era un castigo infrecuente.

Un día, por ejemplo, el despiadado profesor dio a su hijo un problema excepcionalmente difícil de resolver. Tras debatirse durante horas, el joven terminó por resolverlo, con lo cual se dirigió al estudio de su padre para entregárselo.

Orgulloso de su hazaña, el joven esperó ávidamente la alabanza de su padre. Lo había resuelto correctamente, se quejó el viejo Bernoulli, pero ¿no podía haberlo hecho sobre la marcha?

Por insensible que fuera, el profesor Bernoulli compartió con su hijo todo lo que sabía sobre matemáticas y filosofía natural. Por ejemplo, en una lección empezó a describir una nueva y emocionante idea que iba a resultar crucial para la carrera del joven; se refería a la energía, aunque aún no había recibido tal nombre.

En vez de llamarla así, y a semejanza de su laborioso amigo Leibniz, el viejo Bernoulli la llamaba *vis viva* («fuerza viva» en latín) porque parecía que era algo que poseían los objetos que en cierto modo estaban animados. Haciendo distintos experimentos, Leibniz había notado que la *vis viva* de un objeto solo dependía de dos cosas: de su masa y de su velocidad. En términos matemáticos, si m era la masa del objeto y v su velocidad, entonces la fórmula de la *vis viva* se reducía a lo siguiente:

Fuerza viva

$$\textit{VIS VIVA} = m \times v^2$$

Un elefante, al ser muy grande y rápido, posee un montón de *vis viva*. Una hoja movida por una suave brisa, al ser ligera y lenta, tiene muy poca *vis viva*. Un joven Daniel Bernoulli sentado atentamente recibiendo las lecciones de su padre no tenía en absoluto *vis viva*.

La *vis viva* era una especie de combustible invisible, le contó al joven; podía emplearse en levantar un objeto del suelo. Por ejemplo, la *vis viva* era la que impulsaba a una pelota de goma que se lanzara al aire; conforme iba subiendo y ganaba altura, decrecía su *vis viva*.

Una vez que llegaba a lo alto, agotada toda su *vis viva*, la pelota se detenía y empezaba a caer. Los experimentos sugerían que a lo largo de su recorrido la pelota recuperaba por completo toda su *vis viva* gastada (que era como una especie de combustible perfectamente reciclable) de modo que cuando la pelota regresaba a su punto de partida, las cosas quedaban exactamente como estaban al principio.

En otras palabras, a lo largo de los altibajos en la vida de la pelota había un toma y daca preciso entre altura y *vis viva*. Cuando aumentaba la una, decrecía la otra, de manera que no variaba nunca la suma de ambas:

Fuerza viva

$$\text{ALTURA} + \textit{VIS VIVA} = \text{CONSTANTE}$$

Era como si la *vis viva* de un objeto no pudiera destruirse, sino que se limitara a convertirse en otra cosa… en este caso altura. Por lo menos era lo que Johann Bernoulli, Leibniz y muchos otros creían firmemente; la llamaban «Ley de la Conservación de la *vis viva*». (A finales del siglo siguiente, los científicos la llamarían «Ley de la Conservación de la Energía», un dogma sagrado de la física moderna). (*Véase* «Una experiencia nada provechosa»).

Aunque muchas de esas lecciones eran desalentadoras intelectualmente, el joven Bernoulli las aprendió bien. Era un prodigio auténtico que terminó el colegio con solo quince años. Un año después, en 1716, sacó su título de bachiller y comenzó enseguida su formación médica.

Dada su formación, era natural que el joven estudiante de medicina concibiera el cuerpo humano como una mera máquina compleja, como un reloj de fantasía, sujeto a la elucidación de leyes científicas. Según esa manera mecanicista de ver las cosas el cuerpo no estaba animado por un alma sobrenatural, como Aristóteles y muchos de sus seguidores habían creído, sino que estaba alimentada por una *vis viva*; además, todos sus movimientos se ajustaban a las leyes de Newton al igual que cualquier otro objeto.

Mientras seguía sus estudios médicos, el joven Bernoulli quedó encantado al descubrir que había otros que compartían su alocada filosofía. Por ejemplo, en su libro *Sobre el movimiento de los animales* Giovanni Alfonso Borelli derribaba uno de los sueños más ansiados y maravillosos de la humanidad. Después de calcular las enormemente dispares capacidades de los músculos humanos y de las aves para acumular *vis viva*, llegaba a una conclusión: «Es imposible que los hombres lleguen a volar con habilidad por sus propias fuerzas».

El joven Bernoulli descubrió también un alma gemela en el médico británico William Harvey. Hasta ese momento, casi todos habían seguido a Aristóteles, Hipócrates y Galeno en la creencia de que el corazón era la fuente primordial de *calor* en el cuerpo humano. Pero en su libro *Del movimiento del corazón y de la sangre en los animales*, Harvey había escrito que el corazón era como una bomba y nuestros vasos sanguíneos como una red de canales: «La acción del corazón es la transmisión de la sangre y su distribución, por medio de las arterias, a todas las extremidades del cuerpo».

Al joven Bernoulli le atrajo la investigación de Harvey porque le facilitaba un modo de atender a sus dos amores, la matemática y los fluidos, al tiempo que se sacaba el título de médico que esperaba su padre. Además, se trataba de un reto merecedor de sus mejores esfuerzos teniendo en cuenta que nadie (ni Newton, ni Leibniz ni siquiera el autoritario Johann Bernoulli) había descubierto todavía las leyes del movimiento de los fluidos.

Lo cierto era que el padre del joven Bernoulli estaba en ese momento metido en una discusión sobre el análisis que Newton hacía del chorro de agua que salía de un agujero practicado en el fondo de un vaso. Los filósofos de la naturaleza de aquella época seguían siendo muy torpes en la medida de la velocidad, la presión o incluso el caudal de los chorros de fluido y aquellas incertidumbres llevaban inevitablemente a interminables casuísticas.

Daniel Bernoulli, como siempre, se mantuvo al margen de la batalla que su padre libraba contra Newton, pero aun manteniendo la distancia, estaba absolutamente interesado por el resultado. Y ello porque su tesis doctoral se refería a la mecánica de la respiración humana que, al igual que el problema del vaso, suponía el movimiento de un fluido, a saber, el aire.

En 1721, al terminar sus estudios médicos, el joven Bernoulli quedó sumido en reflexiones sobre los problemas irresolutos del comportamiento de los fluidos. Entonces más que nunca deseaba abordar el asunto que a tantos antes que a él había derrotado; lo único que necesitaba era un puesto académico que le proporcionara la libertad y los elementos para conseguir su sueño.

Al igual que había hecho su padre, el joven de veintiún años solicitó un puesto de profesor en la Universidad de Basilea. Y sorprendentemente, como le había ocurrido a su padre, se le negó la oportunidad aunque por diferentes razones.

Era práctica común en la época de Bernoulli que la universidad decidiera por azar la selección de uno de los diversos candidatos cuando estos se hallaban igualmente cualificados. Por ello, se sorteaba a los finalistas para un puesto docente; el ganador obtenía el puesto de profesor.

Debido a su precocidad, Daniel Bernoulli quedó seleccionado como finalista para *dos* puestos de

profesor, uno en anatomía y botánica y el otro en lógica. En consecuencia, y para sus adentros, el joven y brillante médico recién graduado se había confiado bastante en cuanto a sus posibilidades de ganar un codiciado puesto en la universidad de su ciudad natal; nunca habría podido imaginar que perdería en los sorteos de ambos puestos.

Al igual que su padre, Bernoulli había crecido con la idea de la capacidad del cálculo para predecir el resultado de los procesos racionales. Sin embargo, en ese momento, el joven de veintiún años había descubierto que, pese al cálculo, quedaba fuera del alcance de la ciencia predecir el resultado de un juego de azar y mucho menos la vida de una persona.

VIDI

Aunque los humanos hemos vivido siempre en tierra firme, debemos nuestra existencia a los fluidos. Sin agua que beber moriríamos en cuestión de días; o peor aún, sin aire que respirar, pereceríamos en cuestión de *minutos*.

Afortunadamente, la Tierra está repleta de agua y de aire; lo cierto es que siempre ha habido abundancia de ambos para sustentar a nuestra especie, que ya tiene unos cuatro millones de años de edad. Desgraciadamente, sin embargo, no siempre hemos sido tan capaces como hoy de explotar esos preciados recursos.

Por ejemplo, nuestros antepasados nómadas que vivían en cavernas estaban a merced de la geología de la zona. El aire era abundante en todas las regiones que atravesaban (salvo en las cimas de las montañas muy altas) pero los individuos morían o vivían dependiendo de su habilidad para localizar fuentes naturales de agua potable a lo largo de sus rutas migratorias.

Conforme se fueron organizando nuestros antepasados en ciudades, se asentaron en las proximidades de los ríos y empezaron a pensar en maneras de canalizar las aguas que fluían constantemente para llevarla a sus casas y a sus cultivos. Herodoto escribió en una ocasión que «Egipto era un don del Nilo».

Hace cinco mil años, los ingenieros empezaron a construir presas, canales y acueductos para domesticar las aguas bravas de los grandes ríos de la tierra pero para hacerlo solo se basaron en la intuición y en las experiencias anteriores. En época más reciente, hace dos mil años, ni siquiera Aristóteles había descubierto las leyes científicas que describieran el movimiento del agua.

Comparativamente los objetos sólidos eran mucho más sencillos de estudiar que el agua porque, por lo menos, se mantenían en una pieza. Si se daba un golpe de paleta a una piedra, por ejemplo, todas sus partes se movían al unísono haciendo relativamente sencillo describir su trayectoria.

Sin embargo, golpeada con esa misma paleta, el agua saltaba en todas direcciones convirtiéndose en una lluvia de innumerables gotitas. La falta de cohesión de ese fluido que sustentaba la vida, hacía que a ojos de muchos apareciera como un objeto incoherente.

Lo más razonable que Aristóteles dedujo de los fluidos fue lo que se refería a su densidad, o mejor dicho, a la cualidad *opuesta* a la densidad, a la que llamó sutileza. «Si el aire es dos veces más sutil que el agua —escribió—, un cuerpo necesitará dos veces más de tiempo para atravesar la misma distancia en el agua que el aire». Es decir, que es dos veces más fácil moverse en el aire que en el agua.

La afirmación de Aristóteles era una conjetura razonable pero terminó por demostrarse que era

errónea: hay que decir que la resistencia del fuselaje de un avión moviéndose en el aire *no* es la mitad de la resistencia de un submarino de forma similar que se moviera por el agua. La relación entre la densidad de un fluido y su resistencia a los objetos que se mueven en él resultó ser mucho más complicada.

La primera persona que supo discernir una verdad correcta (y sorprendente) sobre el peculiar comportamiento del agua fue el estudioso siciliano Arquímedes. Todo comenzó cuando su amigo Herón II, monarca de Siracusa, se preguntó si habría manera alguna de comprobar la pureza del metal que se había utilizado para fundir su nueva corona imperial. Se suponía que estaba hecha de oro puro pero el rey sospechaba que el orfebre real lo había rebajado con plata.

Era un problema endiablado porque la corona no podía rasparse para obtener una muestra ni tampoco estropearla de ninguna otra manera. Arquímedes se devanó los sesos día y noche pero sin éxito. Entonces, una tarde decidió ir a darse un remojón a los baños públicos.

Lo hacía a menudo, como manera de conceder un descanso a su mente. De hecho, había metido un millar de veces su corpachón en una alberca de agua sin prestar atención a cómo, una y otra vez, el nivel del agua se elevaba ligeramente; pero esa vez fue diferente.

Arquímedes se vio tan emocionado por aquella revelación que corrió a su casa sin vestirse, gritando como un lunático desnudo: «¡Eureka!», «¡Lo encontré!». Lo que había encontrado, como reveló después en un libro llamado *Sobre los cuerpos flotantes* era la Ley del Empuje, conocida hoy como principio de Arquímedes, según la cual todo objeto sumergido en el agua desplazaba una cantidad de agua equivalente a su propio *peso*.

También había descubierto Arquímedes que un objeto que no flotara (uno que se hundiera) desplazaba una cantidad de agua equivalente al propio *volumen* del objeto. (Los cocineros utilizan este principio hoy día cuando sumergen una cucharada de grasa en una copa graduada con agua para saber qué volumen tiene). Casi por accidente, Arquímedes había encontrado el modo de ayudar a su real amigo.

Colocando en un barreño de agua la pesada corona de metal de Herón, que no flotaba, Arquímedes utilizó su reciente revelación para determinar su volumen. Luego *pesó* la corona, con lo que supo deducir su densidad dividiendo su peso por el volumen.

Le salió entre unos 10,5 y 19,3 gramos por centímetro cúbico, densidades de la plata y el oro respectivamente. Arquímedes había confirmado las sospechas del rey de que la corona no la habían fundido de oro *puro*; como consecuencia de ello se ejecutó al orfebre real.

Aunque los descubrimientos de Arquímedes eran importantes, solo se referían a los fluidos contenidos en algún recipiente, como por ejemplo una bañera de agua. En consecuencia, las leyes de Arquímedes representaban los principios de la *hidrostática*, el estudio de los fluidos encerrados; nada decían del agua que fluía libremente y que seguía siendo un misterio ineludible.

Sin embargo, y a lo largo de los muchos siglos que duró el Imperio romano, los ingenieros fueron capaces de construir acueductos públicos que distribuían tanta agua fresca por cabeza como la que reciben en la *actualidad* las modernas ciudades. En el año 97 el gran comisionado de aguas Sextus Julius Frontinus alardeaba: «¿Comparará nadie las aburridas pirámides o esas otras obras inútiles aunque tan renombradas de los griegos con estos acueductos?».

Las notables obras hidráulicas fueron posibles no gracias al cerebro sino a los músculos. Los principios científicos que manejaban Frontinus y sus colegas eran más bien triviales, del tipo de «el agua siempre desciende, nunca sube» o «la mayor cantidad de agua que puede conducir una tubería

depende del tamaño de su boca». (Ni siquiera tuvieron en cuenta que también dependía de la *velocidad* del agua: la cantidad de agua vertida por una tubería era mayor, naturalmente, si el agua salía más deprisa).

Fueron precisos *catorce* siglos más para que otro italiano, Leonardo da Vinci, realizara el primer descubrimiento significativo sobre el agua en movimiento. Y desde luego, otros dos siglos más tarde, sus prescientes observaciones iban a representar un papel esencial en el propio descubrimiento histórico de Daniel Bernoulli relativo a los fluidos en movimiento.

El gran pintor, filósofo e ingeniero del Renacimiento solía pasar largos ratos sentado cerca de las cascadas, arrojando al agua semillas de hierba. Cuando veía cómo el agua atrapaba las semillas en su agitada caída dibujaba sus trayectorias, convirtiéndose así en la primera persona en ilustrar con extraordinario detalle las muchas sutilezas hasta entonces invisibles del agua en movimiento.

Cuantas más cascadas dibujaba de este modo, más se daba cuenta de una cuestión muy importante en relación con el agua: por caótico que pareciera su movimiento al observador casual, había en su comportamiento pautas predecibles, que quedaban reveladas en los dibujos meticulosamente realizados con suaves líneas curvas de aquel maestro del siglo XVI.

Leonardo también estudió los ríos, arrojando semillas o serrín a sus aguas para observar lo que sucedía. En ese trance fue cuando hizo su observación más trascendental, aunque no lo supo de una sola vez: la revelación se le fue imponiendo poco a poco.

Al principio, Leonardo solo se dio cuenta de que «un río de profundidad uniforme irá más deprisa en un tramo más estrecho que uno más ancho». En otras palabras: que una corriente de agua siempre fluía más deprisa cuando pasaba por un cuello de botella (hecho potencialmente peligroso que cualquier piragüista de aguas bravas entiende de forma instintiva).

Leonardo fue un paso más allá, observando que la velocidad del agua se incrementaba en *proporción directa* al estrechamiento. Por ejemplo, por un cuello de botella que fuera *la mitad* de ancho que el río normal, el agua pasaba al *doble* de velocidad. Por un cuello de botella *la tercera* parte de ancho, el agua se movía *tres veces* más rápida que lo normal, y así sucesivamente.

El descubrimiento trascendental de Leonardo de tan simple hecho de la naturaleza se conoció como «Ley de la Continuidad». Aunque se refería a un fluido, las consecuencias de la ley podían comprenderse imaginando, por ejemplo, un flujo continuo de animales que entrara en el arca de Noé.

Supongamos que en esa arca imaginaria, las parejas de animales entraran por la puerta principal tocándose hombro con hombro. Supongamos que después de que Noé anotara su llegada en una gigantesca antecámara, tuvieran que meterse por un pasillo interior de uno en uno (el cuello de botella del arca) para llegar a sus establos; digamos que la puerta interior sería entonces *la mitad* de ancha que la puerta principal.

Según la Ley de la Continuidad de Leonardo, para que las cosas se mantuvieran en movimiento, todos los animales deberían *duplicar* su velocidad de paso por el cuello de botella del arca. Supongamos, por ejemplo, que los animales entraran en el arca a razón de una pareja por segundo… es decir, dos animales por segundo. Cuando cada pareja se dividiera para ir en fila india a los establos, todos los individuos deberían acelerar su paso, para poder pasar por el cuello de botella en medio segundo… dos veces más deprisa; de no hacerlo así, la ordenada procesión de animales se atascaría.

Con el tiempo, Leonardo supuso que su Ley de la Continuidad era aplicable a los fluidos de todo tipo, incluyendo el aire. De hecho, fue la primera persona de la historia en darse plena cuenta de que aire y agua eran primos hermanos. «En todos los casos —escribió—, el agua tiene un gran parecido

con el aire».

Leonardo se había dado cuenta de este parecido como resultado del estudio que hizo del vuelo de los pájaros en el aire y del movimiento de los peces en el agua. Los primeros le inspiraron el esbozo de diseños fantasiosos de ornitópteros movidos por el hombre, y los segundos le inspiraron el esbozo de diseños de barcos subacuáticos, que, respectivamente, preludiaban al avión y el submarino.

En las décadas inmediatamente posteriores a esas visiones sin precedentes, algunos filósofos de la naturaleza realizaron otros importantes descubrimientos sobre los fluidos en movimiento aunque ninguno resultó ser tan crucial como el de Leonardo. Además, y sin que se sepa por qué, ¡todos los investigadores (todos y cada uno) eran italianos!

Puede que fuera por la tradición que en tiempos inspirara las famosas obras hidráulicas romanas. Puede que fuera por la incomparable tradición romana del Renacimiento de creatividad y estudio universal. Fuera por lo que fuere, durante el siglo XVII, los italianos (entre ellos Galileo Galilei, Evangelista Torricelli y Domenico Guglielmini) estudiaron los fluidos con más éxito que nadie en todo el planeta.

Sin embargo, las cosas dieron un brusco vuelco en 1642 cuando murió Galileo después de haber estado detenido por la Inquisición y de habérsele obligado a retractarse de sus creencias científicas. (*Véase* «Manzanas y naranjas»). Después de lo cual, nunca volvió a fluir con la misma libertad el río de las ideas y de las invenciones que hizo de Italia aquella Meca creativa.

Durante aquellos años tumultuosos, la ciencia buscó terrenos abonados en otras partes. Los encontró en Alemania, en Inglaterra, en Francia y prácticamente en cualquier otro país en el que no dominara la ortodoxia católica. Fueron el inicio de una nueva era, los estadios climáticos de una revolución científica que se veía ayudada por la revolución religiosa que Martín Lutero y Juan Calvino habían iniciado más de un siglo antes.

Con su hincapié en el trabajo duro, los calvinistas ya tenían el crédito de ser los motores del auge del capitalismo en el siglo XVII. Después, debido a su hincapié en la disciplina mental, se les atribuyó fama de apoyar el auge del cientificismo, la creencia de que en último extremo todo lo existente en el mundo natural podía explicarse matemáticamente y probarse experimentalmente.

En Alemania, Gottfried Wilhelm Leibniz se convirtió en uno de los principales adalides de esta filosofía *cum* religión, lo mismo que Isaac Newton en Inglaterra y la familia más ilustre de hugonotes, los Bernoulli, en Suiza. No tendrían éxito completo pero en las décadas siguientes estos filósofos de la naturaleza iban a resolver tres de los misterios de la naturaleza que más perplejidad causaban: primero los sólidos, luego los fluidos y, finalmente, los seres humanos.

VICI

En 1723 Daniel Bernoulli se marchó de Basilea para poder olvidar su fracaso en la obtención de un puesto de profesor universitario. El alicaído y joven médico se dirigió a Italia esperando poder practicar allí la medicina pero al llegar a Padua él mismo cayó gravemente enfermo de fiebres.

Durante el año que duró su recuperación, Bernoulli mantuvo correspondencia con un amigo llamado Christian Goldbach, en el curso de la cual volvió a plantearse muchas de las lecciones que había aprendido con su padre. Lo que es más, aplicó aquellas técnicas a muchos de los problemas más retadores de su época, incluyendo el que se refería a cómo salía el agua de un vaso por un agujero.

Una vez recuperado y deseando ejercitar su musculatura intelectual, Bernoulli decidió participar en la competición anual que patrocinaba la Academia de las Ciencias francesa. El reto de aquel año era el diseño de un reloj de arena para un barco, que produjera un reguero de arena (o de agua) fiable incluso cuando los mares embravecidos lo agitaran de un lado a otro.

Lejos de tratarse de un problema académico, era de crucial importancia para los marinos, que confiaban en los relojes para calcular su longitud, es decir, la distancia al este o al oeste del puerto de partida. (La latitud se calculaba fácilmente observando la posición del sol). Por tal motivo, los distintos países competían denodadamente para hacerse con cronómetros de a bordo precisos, a sabiendas de que una mejor navegación se traduciría en un mejor comercio marítimo y en mayores beneficios.

El joven Bernoulli presentó su solución pero realmente no esperaba ganar. No se sentía especialmente afortunado después de haber perdido en dos sorteos, y además había descubierto que el extranjero estaba lleno de matemáticos muy dotados, muchos de los cuales competían por el premio en cuestión.

Por ello, cuando se anunciaron los resultados, Bernoulli, a sus veinticuatro años, se quedó pasmado al saber ¡que había ganado el primer premio! Su idea ganadora suponía montar el reloj de arena sobre una lámina de hierro que flotaba en un recipiente con mercurio; el joven había calculado que incluso agitado por violentas tormentas, la propia pesadez del mercurio mantendría el reloj sin que girara demasiado, proporcionándole una base relativamente estable.

Apenas se había recuperado Bernoulli de la sorpresa de ganar el inestimable galardón de la Academia cuando recibió una noticia aún más chocante. Goldbach se había mostrado tan impresionado con las cartas que había recibido del convaleciente Bernoulli, que había decidido publicarlas.

Aunque Bernoulli puso objeciones, quejándose de que las cartas estaban escritas de manera informal y sin prestar atención a los detalles, terminó por ceder, dando al libro su bendición y un título poco agraciado: *Algunos ejercicios matemáticos*. Además, y por puro respeto a su padre, cuyas ideas le habían inspirado buena parte de lo que las cartas contenían, el modesto joven pidió al editor que le identificara sencillamente como «Daniel Bernoulli, hijo de Johann».

En 1725, después de haber pasado de ser doble perdedor a doble ganador, un rejuvenecido Bernoulli decidió que ya había visto bastante Italia y se encaminó de vuelta a casa. Sin embargo, cuando llegó a Basilea se encontró con un recibimiento que no era el que él esperaba.

En los meses anteriores, habían llegado cartas de todo el mundo, saludando el libro de Bernoulli como la obra de un prodigio matemático. Lo más sorprendente de todo era que le esperaba una carta de Catalina I, la emperatriz de Rusia.

En su nota, alababa los infrecuentes talentos del joven y le invitaba a convertirse en profesor de matemáticas en la Academia Imperial de las Ciencias de San Petersburgo. Como la Academia y la ciudad llevaban poco tiempo construidas, por orden de su recientemente fallecido esposo Pedro el Grande, la emperatriz estaba intentando en ese momento poblarlas con las mejores mentes de toda Europa.

A Bernoulli le halagó la oferta pero se sintió intimidado ante la idea de verse solo y tan lejos de casa. Estaba cansado de vivir en el extranjero; anhelaba dormir en su cama y estar cerca de su familia.

Decidió rechazar esta oportunidad de su vida y decidió escribir una carta de disculpa a la emperatriz. Pero antes de que el joven Bernoulli pudiera ponerse a la tarea, Nikolaus II, su hermano

mayor, intercedió y se ofreció desinteresadamente a ir con él.

Después de eso, un envalentonado Daniel Bernoulli decidió aceptar la oferta de la emperatriz a condición de que garantizara puestos de profesores a él y a Nikolaus II. «Si podéis secundar este plan —explicaba a uno de los funcionarios de la Academia—, tendréis el mérito de mantener juntos a dos hermanos vinculados por la amistad más estrecha del mundo».

Con la franca aprobación de la emperatriz, los dos hermanos abandonaron Basilea en otoño de 1725, atravesando Europa en lo que fue el viaje más largo de sus vidas. Unos dos meses después llegaban a San Petersburgo y casi inmediatamente se arrepintieron de haber ido hasta allí.

El pueblo ruso era cordial y amistoso, pero el tiempo era frío y desapacible. A principios del nuevo año, Nikolaus II cayó enfermo con una afección respiratoria muy rebelde. Le duró toda la primavera y buena parte del verano hasta que finalmente, el 26 de julio de 1726, sucumbió a los estragos de la tuberculosis.

Sacudido por tan cruel giro del destino, el impulso de Daniel fue el de volverse a casa inmediatamente y dejar atrás aquel traumático episodio. Pero su creencia en el destino le hizo decidirse a permanecer en San Petersburgo. El joven hugonote se consolaba diciendo que, aparte de ver morir a su hermano, tenía que existir alguna otra razón que explicara por qué Dios le había conducido a un lugar tan remoto.

En un intento de aplacar su soledad, Daniel Bernoulli decidió reclamar a Leonhard Euler, un joven cuya inteligencia había merecido elogiosos comentarios del severo profesor que era Johann Bernoulli. Ciertamente, Daniel no podía recordar ni un solo caso en que su padre hubiera elogiado la sagacidad de cualquiera con tanta desinhibición, como no fueran la propia o la de Leibniz.

Los antepasados de Euler, como los de Bernoulli, habían huido inicialmente a Basilea para escapar a la persecución religiosa, y habían prosperado. La única diferencia era que el joven Euler descendía de una antigua familia de fabricantes de peines y de clérigos en lugar de una de comerciantes y de boticarios.

El propio Euler era hijo de un ministro calvinista de un pueblecito río Rin abajo. Antes de que naciera Leonhard, su padre había hecho frecuentes desplazamientos hasta la Universidad de Basilea para escuchar las clases de matemáticas aplicadas a todo, desde la astronomía hasta la zoología, que daba el profesor Jakob Bernoulli.

Después, el ministro transmitió a Leonhard todo lo que había aprendido en aquellas clases. Más tarde, el reverendo Euler reconoció en su joven hijo un talento genuino para los números y arregló las cosas para que asistiera a las mejores escuelas de Basilea.

En 1720, a la tierna edad de trece años, el joven Euler se matriculó en la Universidad de Basilea. Al poco, aquel jovencísimo genio pidió que le enseñara el famoso profesor Johann Bernoulli, pero «estaba muy ocupado», se lamentaba Euler, «y por ello rechazó de plano darme lecciones particulares».

Sin embargo, el viejo Bernoulli se había dignado a permitir que aquel joven de talento pasara por su casa todos los sábados por la tarde para evaluarle su trabajo. Durante aquellos encuentros, Euler resolvió todos los problemas que le planteaba el adusto profesor, y en un tiempo récord. Por ello, el brillante adolescente terminó por obtener el auténtico privilegio de ser el primer protegido de Bernoulli.

En 1725, unas pocas semanas antes de que Daniel y su hermano partieran para San Petersburgo, su padre les había sorprendido expresando una admiración creciente por aquel niño maravilloso.

Ciertamente el profesor Bernoulli había mostrado un entusiasmo sin precedentes a la vista de una mente científica y matemática como pocas veces puede admirar el mundo.

Con tales recomendaciones, Daniel y su hermano habían implorado de Catalina I que considerara invitar al mago adolescente a su joven Academia. En ese momento, habiendo muerto su hermano y con los estudios de Euler terminados, Daniel Bernoulli presionó todavía más para que se invitara a Euler, y lo logró.

Mientras esperaba la respuesta de Euler a la invitación de la emperatriz, Bernoulli, que tenía veintiséis años, intentó reanudar sus estudios sobre el cuerpo humano donde los había dejado. Habiendo intentado resolver el problema de la respiración, volvió su atención al problema aún más complicado de la circulación de la *sangre*.

En esa época, la mayor parte de lo que se sabía sobre el interior del cuerpo humano era el resultado de las vivisecciones que llevaban practicándose más de dos mil años. Era una macabra práctica sobre la que había escrito, defendiéndola, el estudioso romano Celcus en la época antigua en su *De la medicina*, primer volumen de su inmensa enciclopedia:

> Así, tienen abiertos a los hombres mientras están todavía vivos (criminales salidos de la prisión por orden real) y mientras siguen respirando, se observan las partes que la naturaleza ha mantenido ocultas anteriormente… No es cruel, como la gente dice, que en la ejecución de los criminales, y solo en unos pocos, busquemos remedios para las gentes inocentes de tiempos futuros.

Durante el Renacimiento y hasta la época de Bernoulli, seguían haciéndose vivisecciones aunque la complejidad del interior del cuerpo solía dejar todavía más confundidos a los científicos. «Cuando presté atención a las vivisecciones —se había quejado Harvey—, encontré la tarea tan extremadamente ardua que… me sentí tentado de pensar… que el movimiento del corazón solo podría entenderlo Dios».

Sin embargo, y gracias a la perseverancia, la ciencia había llegado a descubrir que el interior del cuerpo estaba recorrido por venas y arterias de distintos calibres, algunas anchas, otras estrechas. Además, observando las arterias de las personas que aún estaban vivas, Harvey y otros habían confirmado que cuando el corazón se contraía, las arterias se llenaban súbita y provisionalmente de sangre, lo que las hacía hincharse, como si fueran unos embutidos excesivamente rellenos.

Harvey y sus contemporáneos habían descubierto también que cuando el corazón se relajaba, las paredes arteriales se contraían de nuevo, empujando la sangre que tenían y haciéndola avanzar. Una y otra vez las arterias se hinchaban y se contraían, se hinchaban y se contraían, produciendo lo que los filósofos habían llamado hacía mucho tiempo el «pulso» de la vida.

Lo que Daniel y otros científicos de su tiempo deseaban saber era la *velocidad* y la *presión* a las que circula la sangre por nuestro complejo sistema circulatorio. Era el tipo de problema que el brillante ingeniero hidráulico romano Frontinus podía haberse planteado aunque no lo hizo.

En los siglos siguientes a Frontinus nadie se lo había planteado tampoco, sencillamente porque el problema era demasiado complejo. Bernoulli se quejaba de que «los que han hablado de la presión del agua, que fluye por los acueductos, no nos han dejado leyes que no sean las de los fluidos sin movimiento», es decir; la hidrostática que fundara Arquímedes.

En el caso de los fluidos *estáticos* los filósofos no tenían dificultad en calcular la presión; dividían simplemente el peso del fluido por el área de la superficie que lo soportaba. Era una adaptación directa de la definición que siempre se había empleado para calcular la presión ejercida por los *sólidos*.

Por ejemplo, el fino punto de apoyo de un tacón de zapato que lleva una mujer de tamaño normal produce enormes presiones (¡hasta 140 kilos por centímetro cuadrado!) debido a que su peso descarga por entero sobre un área muy pequeña. (Y lo cierto es que en los primeros días de la aviación, a las pasajeras con tacones de aguja se les prohibía subir a bordo de los aviones debido al peligro de que atravesaran con sus tacones sus finísimos suelos de metal).

De manera parecida, las aguas estáticas contenidas en un embalse artificial producían inexplicables presiones sobre la presa. ¿Por qué? Porque todo el peso enorme del agua lo retenía (impidiendo que se derramara) la superficie relativamente pequeña del muro de la presa. (En el caso de la presa Hoover, en Nevada, las aguas presionan sobre la pared de hormigón con presiones que llegan hasta las ¡220 toneladas por metro cuadrado!).

Por contra, para los fluidos *que se movían libremente*, la situación era mucho más complicada. Y ello por no ser tan fácil de medir, o incluso de definir, la presión de algo cuyo peso cambiaba constantemente o cuya forma (y por lo mismo, el área sobre la cual presionaba) estaba en cambio continuo.

Para la generación de Daniel Bernoulli se trataba de un problema no solo teórico. Más de un médico del siglo XVIII tenía la costumbre de tratar a sus pacientes abriéndoles deliberadamente una vena, en la creencia de que las personas se hinchaban a causa de la enfermedad porque sus cuerpos acumulaban un exceso de sangre. Conocido como flebotomía o sangría, el procedimiento se remontaba al siglo V a.C. cuando Hipócrates lo utilizó en pacientes con enfermedades inflamatorias. Sin embargo, en la época de Bernoulli muchos médicos empleaban esta técnica para tratar casi *cualquier* tipo de enfermedad.

La práctica se había hecho tan popular y en verdad tan gratuita que se notaba una demanda para que se refinaran sus brutales efectos sobre los pacientes. Si alguien pudiera inventar una forma de medir la presión sanguínea de un paciente, los médicos podrían utilizar esa información para calibrar exactamente en qué medida había que sangrarlos.

La pregunta era: «¿Y cómo puede hacerse tal cosa?». No existía artilugio alguno para medir la presión sanguínea; increíblemente, no existía dispositivo de *ningún* tipo para medir la velocidad ni la presión de *ninguna* clase de fluido que se moviera por *cualquier* tipo de conducto hueco.

En 1727, mientras el joven Bernoulli ponderaba el asunto, llegó la noticia de la muerte de Isaac Newton. El gran filósofo de la naturaleza había sido una fuente de creatividad y siempre se le recordaría por descubrir, entre otras cosas, los tres axiomas o leyes relativos al comportamiento de los objetos sólidos:

Ley I: Un objeto sólido se moverá en línea recta a velocidad constante (o no se moverá en absoluto) a menos que se vea desviado por una fuerza.

Ley II: Un objeto sólido se acelerará (o se desacelerará) invariablemente si se ve empujado por alguna fuerza.

Ley III: Dos objetos sólidos que se empujen mutuamente experimentarán fuerzas iguales y de sentido opuesto.

En Basilea, el padre de Daniel Bernoulli reaccionó ambivalentemente ante la desaparición de su Némesis particular, aquel querido y «vil inglés». Por un lado, le complacía saber que a partir de entonces sería el matemático más estimado en todo el mundo civilizado; pero, por otro, la muerte de Newton le recordaba su propia mortalidad.

Echando la vista atrás en su tormentosa carrera, aquel profesor de sesenta años, se sintió engañado por la vida. Por ejemplo, el marqués de l'Hôpital (el matemático francés al que hacía tantos años que Bernoulli había enseñado cálculo y al que había confiado muchos de sus descubrimientos) resultó ser una especie de canalla. No solo se atribuyó algunos de aquellos descubrimientos y dejó de pagar a Bernoulli sus servicios prestados, sino que recientemente había escrito un manual de cálculo de excelente venta sin incluir un reconocimiento adecuado a su antiguo mentor.

Y luego el asunto de su esposa y de su familia política: para poder complacerlos estando cerca de casa, había declinado constantemente ofertas muy apetitosas de prestigiosas universidades de todo el mundo. Como consecuencia, se había quedado en el mismo puesto de la misma universidad provinciana durante toda su vida adulta.

Y luego el insulto más grave de todos, el que más le encolerizaba: después de tantos años intentándolo, el grande y glorioso profesor Johann Bernoulli no había obtenido el primer premio del famoso concurso de la Academia francesa… ¡ni siquiera una mención honorífica! Hasta su joven hijo le había ganado.

A miles de kilómetros de allí, en San Petersburgo, la muerte de Newton había tenido un efecto diferente en Daniel Bernoulli. El joven nunca había visto a Newton pero se sentía vinculado a él emocionalmente, cosa que procedía en parte de su deseo de llegar a ser tan famoso como él. En su elogio, Bernoulli decía que «Newton, hombre inmortal por sus méritos, era un hombre superior y de incomparable capacidad».

Habiendo muerto en poco tiempo dos personas tan próximas a él, el joven Bernoulli se sintió complacido cuando finalmente llegó el día en que Euler hizo su aparición en la Academia rusa. Y también se sintió emocionado al saber que aquel discípulo de diecinueve años tan apreciado por su padre acaba de obtener un prestigioso Diploma al Mérito en la competición anual de la Academia francesa.

Animado por la inteligencia estimulante y la energía juvenil de Euler, Bernoulli enseguida comenzó a ver la Academia de San Petersburgo con mayor aprecio, cosa merecida. Durante sus pocos años de existencia, la joven y prestigiosa institución había atraído a la *crème de la crème* de la filosofía natural y les había proporcionado lo mejor para poder trabajar.

«Yo y todos los demás que tuvimos la buena suerte de estar algún tiempo en la Academia Imperial rusa —recordaría Euler más adelante—, no podemos sino reconocer que debemos todo… a las favorables condiciones de que dispusimos allí».

En los años venideros, Bernoulli y Euler trabajarían en muchos problemas comunes, tanto por separado como en conjunto. Ambos harían descubrimientos relativos a los sólidos y a los fluidos, pero allí donde Euler demostró ser más un matemático, prefiriendo trabajar en su despacho con papel y pluma, Daniel había demostrado que no le importaba mancharse las manos en el laboratorio.

De hecho, y al poco de la llegada de Euler, Bernoulli reanudó sus esfuerzos por descubrir un modo de medir la presión del agua que se desplazaba por una cañería. Lo intentó con tuberías de hierro pulido de distintos diámetros pero continuó fracasando en su propósito.

Cerca de cincuenta años antes, un inteligente francés llamado Edme Mariotte había conseguido medir la presión del agua no cuando se movía *a lo largo de* una tubería, sino al *salir* de una tubería. Lo consiguió haciendo que el agua que salía chocara contra un pequeño balancín de madera. En el otro extremo del balancín, Mariotte había colocado unos plomos. En relación con el peso que hacía falta para nivelar el empuje del agua, Mariotte había sido capaz de estimar su fuerza y, a partir de ella, su presión.

Desde luego no sería sensato utilizar la técnica de Mariotte para medir la presión sanguínea: para ello se requeriría abrir la arteria de una persona y dejar salir la sangre en grandes cantidades. Por tanto, para Bernoulli la cuestión estribaba en dar con un sistema de medir la presión del fluido *sin* dejarlo escapar o sin interrumpir de manera notable su flujo a lo largo de los conductos.

En 1729, mientras Bernoulli le daba vueltas al asunto, recordó una cosa que había leído en el libro de Harvey. «Cuando se secciona o se pincha una arteria —había anotado el viviseccionista—, se verá cómo la sangre brota con violencia. Durante el curso de un latido completo —proseguía Harvey— el chorro de sangre sale proyectado primero a mayor distancia, luego a menor, dándose el caso del chorro más largo cuando el corazón se contrae».

Bernoulli razonó que, claramente, la *altura* de la sangre que brotaba era una medida directa de la *presión* en el interior de la arteria; a mayor presión arterial, mayor altura del chorro. Conforme el corazón se contraía y se relajaba, aumentaba o decrecía la presión sanguínea, correspondiendo las elevaciones y las depresiones a lo que los médicos llaman presión *sistólica* y presión *diastólica*, respectivamente.

Siguiendo la idea de Harvey, Bernoulli pinchó la pared de una tubería y a ese agujerito le aplicó el extremo de un capilar de vidrio. Dejando que el agua circulara por la tubería como de costumbre, observó, esperó y por fin tomó nota con júbilo de que conforme el agua pasaba por la abertura, subía una columnita de agua por el capilar y se detenía a cierta altura. ¡Lo había conseguido! Esa altura era la medida de la presión del agua que fluía.

Si el agua subía mucho por el capilar, significaba que, en ese punto, la presión del agua dentro de la tubería de hierro era grande. A la inversa, si el agua apenas subía por el tubito de cristal significaba que, en ese punto, la presión del agua dentro de la tubería de hierro era pequeña. Y en todos los casos, afortunadamente, no se derramaba nada de agua al hacer las mediciones.

Ansioso de compartir con otros la noticia de su logro, Bernoulli escribió a su viejo amigo Christian Goldbach, que entonces estaba en Moscú. «En estos últimos días he hecho un descubrimiento nuevo que será muy útil en la construcción de los suministros de agua —predecía un Bernoulli jubiloso—, pero que, sobre todo, abrirá una nueva era en la fisiología».

De acuerdo con la profecía de Bernoulli, pronto todos los médicos de Europa empezaron a adoptar su innovación. Antes de tomar la decisión de abrir una vena de un paciente para sangrarle; los médicos aplicaban unos capilares aislados directamente a una de las arterias.

Prácticamente sin derramarse, la sangre seguía circulando sin interrumpirse a lo largo de la arteria pinchada, pero una pequeña cantidad subía por el tubo de vidrio. El punto donde dejaba de subir, fuera más arriba o más abajo, marcaba invariablemente la presión sanguínea del paciente. (Por increíble que parezca, hasta 1896 no inventaría el médico Scipione Riva-Rocci el esfigmomanómetro, o

tensiómetro, ese artilugio indoloro a modo de manguito que hoy día nos resulta tan familiar).

Bernoulli se quedó pasmado por las implicaciones de su nueva técnica, no solo para la medicina sino para la física de fluidos. «No puedo sino sentirme agradecido a esos principios físicos con los que me he relacionado tanto —observaba modestamente el Bernoulli de la época—, ya que verdaderamente me han llevado de la mano para sacar a la luz muchas propiedades nuevas que se refieren… al movimiento de los fluidos».

Notaba, con excitación creciente y silenciosa, que era francamente posible que hubiera llegado al umbral de hacer realidad el sueño de ser el Isaac Newton de ese asunto tan extremadamente escurridizo. Pero no era momento de detenerse y ensoñarse con una fantasía infantil.

Mientras seguía avanzando, el joven confirmó lo que Leonardo da Vinci había descubierto dos siglos antes, la Ley de la Continuidad: el agua que fluye desde un conducto ancho a otro más estrecho, circula más deprisa; la que pasa de un conducto más estrecho a otro más ancho, aminora su velocidad.

Sin embargo, lo que Bernoulli observó a continuación no tenía precedente alguno. El agua que se movía despacio (en un conducto ancho) siempre tenía una presión más alta, según descubrió, que el agua que se movía deprisa (en el conducto estrecho). En otras palabras, parecía existir una compensación entre la presión y la velocidad: a menor velocidad, mayor presión, y a mayor velocidad, menor presión.

Inmediatamente, la mente de Bernoulli se acordó del famoso principio de Leibniz, la Ley de la Conservación de la *vis viva*. El padre de Bernoulli le había dicho que solo valía para los sólidos; pero ahora el joven se preguntaba: ¿Sería posible que hubiera dado con la prueba de que también los fluidos obedecían a un análogo principio de conservación?

El corazón de Bernoulli se aceleró con la idea, lo mismo que su mente. Según el principio de conservación, cuando se arrojaba al aire cualquier objeto, había siempre una compensación entre su *vis viva* (es decir, su energía cinética) y la altura a la que se encontraba en cada momento. Si la corazonada de Bernoulli era correcta, su nuevo principio supondría una compensación entre la *vis viva* y la *presión* del fluido.

Sin embargo, antes de seguir adelante, Bernoulli tenía que pararse a pensar lo que estaba diciendo. La fórmula de Leibniz para la *vis viva* solo se aplicaba a los objetos sólidos:

$$\textit{VIS VIVA} = m \times v^2$$

¿Era posible ampliar su significado para que abarcara a los fluidos, se preguntó el joven Bernoulli, y de ser así, cómo podría hacerse?

Resultaba irónico que encontrar las respuestas le exigiera volver a las ideas matemáticas de Leibniz y de Newton. En vida, los dos grandes rivales nunca se habían puesto de acuerdo en nada; en ese momento, su hijo intelectual estaba a punto de ponerlos de acuerdo de la manera más feliz.

Guiado por el cálculo de Leibniz, Bernoulli comenzó por reducir el problema a sus partes infinitesimales. Concretamente, se imaginó que troceaba en infinitas lonchas de espesor infinitesimal el agua que fluía a lo largo de un conducto cilíndrico: tan finas las lonchas que no hubieran podido distinguirse ni siquiera con la ayuda de ningún aparato de laboratorio que pudiera concebirse.

Bernoulli imaginaba que esas lonchas tan imposiblemente finas se comportaban como un desfile de discos *sólidos* pegados los unos a los otros, empujándose por la tubería. Bernoulli, en efecto, imaginaba que incluso aunque los fluidos y los sólidos se comportaran de manera distinta a escala

macroscópica, venían a ser básicamente lo mismo cuando se los miraba con el microscopio infinitamente poderoso de la imaginación matemática.

Después, Bernoulli utilizó las famosas tres leyes de Newton sobre el comportamiento sólido para calcular los empujes y los roces entre sus lonchas acuosas hipotéticamente sólidas. Y finalmente, para obtener el resultado neto, el joven utilizó el cálculo de Leibniz para sumar la infinitud de interacciones entre loncha y loncha.

El normalmente ceremonioso Bernoulli, bailó de júbilo: sus cálculos le habían llevado a una versión para fluidos de la vieja fórmula de Leibniz sobre la *vis viva*. De hecho, ambas fórmulas eran idénticas salvo por una sustitución bien comprensible: en lugar de la masa del objeto sólido aparecía una referencia a la densidad del fluido, simbolizada por la letra griega *rho*. Es decir:

$$\textit{VIS VIVA} = \rho \times v^2$$

Por ejemplo, una avalancha a gran velocidad de una melaza muy densa tenía una enorme *vis viva*, una enorme energía de movimiento. Por contra, un goteo muy escaso de alcohol tenía una *vis viva* pequeñísima. Y los fluidos estáticos, como las lágrimas de alegría que ahora se agolpaban en los ojos de Bernoulli no tenían *vis viva* en absoluto.

Y lo que es más (y esta es la parte más emocionante) los cálculos de Bernoulli habían confirmado lo que sus experimentos con tuberías le habían sugerido desde un principio: que los fluidos obedecen a su propia versión de la vieja Ley de la Conservación de la *vis viva*. «Así añadí una nueva pieza a la teoría del agua —se entusiasmaba Bernoulli—, con el éxito más placentero».

Como en el caso de la propia fórmula de la *vis viva*, la nueva versión de Bernoulli para los fluidos del principio de conservación era casi idéntica a la versión original para los sólidos. La única diferencia era que el fluido en movimiento compensaba su *vis viva* con presión y no con altura:

$$\text{PRESIÓN} + \textit{VIS VIVA} = \text{CONSTANTE}$$

En símbolos matemáticos, utilizando P para la presión, la revelación de Bernoulli se resumía en lo siguiente:

$$P + \rho \times v^2 = \text{CONSTANTE}$$

El descubrimiento de Bernoulli podría considerarse como el caso del representante de un grupo de presión que intentara convencer a los senadores de que votaran favorablemente en cierto asunto político. Cuanto más rápidamente hiciera sus rondas (cuanto más dividiera su tiempo) menos podría presionar a cada político; de manera similar, en el caso de un fluido, cuanto más deprisa fuera (cuanto mayor fuera su *vis viva*) menor sería la presión que ejercería sobre las paredes del recipiente.

Lo mismo es cierto al revés también. Cuanto más despacio fuera el representante haciendo sus rondas, más capaz sería de ejercer una mayor presión sobre cada político; igualmente, cuanto más despacio se moviera un fluido (cuanto menor fuera su *vis viva*) mayor sería la presión que ejercería sobre las paredes del recipiente.

El razonamiento de Bernoulli se aplicaba perfectamente al paso de la sangre por una arteria. Cada vez que el corazón bombeaba, la arteria se expandía (aumentando su diámetro) haciendo que la sangre

que fluía por ella se ralentizara, de acuerdo con la vieja Ley de la Continuidad de Leonardo. Lo cual significaba, según el nuevo principio de Bernoulli, que la *vis viva* de la sangre decrecía y que aumentaba su presión.

A la inversa, cada vez que el corazón se relajaba, la arteria volvía a encogerse. La sangre se apresuraba a lo largo del vaso estrechado (es decir, que su *vis viva* se incrementaba momentáneamente) y su presión decrecía en consecuencia. Y así ocurría con *todos* los líquidos, descubrió Bernoulli, al pasar por todo tipo de conductos.

Un siglo después, un médico alemán llamado Gustave Gaspard Coriolis añadiría un factor de un medio a la fórmula original de la *vis viva*. Lo hizo al trabajar con un problema completamente distinto (que tenía que ver con la rotación de la Tierra) y solo porque le convenía para sus cálculos, pero su versión de la fórmula tuvo éxito. Por ello, de ahí en adelante, el principio de Daniel Bernoulli se escribió:

$$P + \rho \times 1/2\, v^2 = \text{CONSTANTE}$$

En cierto modo, esta notable ecuación no fue solo el resumen del comportamiento de los fluidos sino un espaldarazo a la carrera matemática de Bernoulli. Podría argüirse que aquel joven de treinta años la había encontrado accidentalmente o que era el destino el que le había guiado, pero en cualquier caso la simplicidad elegante de la ecuación y su precisión poética no dejaban lugar a dudas de que se había formulado una gran verdad. El joven autor se maravillaba después de pasada la novedad de su descubrimiento de que «claramente es sorprendente, que haya podido permanecer desconocida hasta esta época esta sencillísima regla que la naturaleza ofrece».

Incapaz de contenerse, Bernoulli confió su descubrimiento a unos pocos amigos de la Academia y muy especialmente a Euler con el que había desarrollado un vínculo fraternal. Al propio Euler no le iba nada mal, publicando más artículos que todos los demás sabios de la Academia sobre asuntos que iban desde la astronomía al armamento militar, pasando por el movimiento de los objetos sólidos de formas complicadas.

Conforme fue creciendo la fama de Euler, fue creciendo también el tono reverente con el que le saludaba en sus cartas desde Basilea su anciano mentor. Algunos años antes, Euler había merecido de él solo una salutación moderadamente halagadora (algo así como «estimado colega») pero en la última misiva Johann Bernoulli se le había dirigido sin cortapisas como «Leonhard Euler, el hombre de ciencia más instruido y dotado».

Era una aprobación bien merecida de un hombre que aquel año también se sentía particularmente bien instruido y dotado. Era el año de 1730 y para alivio y enorme alegría del profesor Johann Bernoulli había ganado, dicho por él mismo, «el gran premio de 2.500 libras de la Real Academia de las Ciencias [francesa]».

Cuando Daniel supo del tremendo logro de su padre, algo en su interior le impulsó a volver a casa. Había llegado a apreciar la libertad intelectual de la Academia rusa y los mimos que había recibido de sus benefactores reales; pero ya había hecho su trabajo y, a decir verdad, seguía odiando el frío clima.

Durante los dos años siguientes continuó intentando conseguir un puesto en la Universidad de Basilea pero, desgraciadamente, siguió perdiendo los sorteos académicos. Sin embargo, en 1732, casi cuando estaba a punto de abandonar, el joven sacó el número agraciado, ganando el deseado puesto de profesor en los departamentos de anatomía y de botánica.

Antes de abandonar Rusia, Bernoulli se apresuró a terminar un asunto importantísimo. Durante los siete años que había trabajado en la Academia Imperial, había reunido en un único gran manuscrito el resultado de todos sus experimentos, incluyendo su estimada ecuación sobre el flujo de fluidos.

Sin embargo, antes de hacer que lo publicaran, quiso añadir una sección final. Por ello, antes de partir decidió confiar la parte que ya estaba completa a su queridísimo amigo y colega Leonhard Euler.

En un último gesto afectuoso, además, Bernoulli recomendó que se nombrara a Euler como sucesor suyo en el puesto de profesor de matemáticas. La emperatriz Catalina I aceptó la petición pero insistió en nombrar a Bernoulli, a quien no consentía ver marchar, como miembro correspondiente vitalicio de la Academia.

A su regreso, Bernoulli atravesó país tras país a toda velocidad, ansioso de que terminara el viaje. Sin embargo, había estado muy lejos de casa y ya distaba de ser un niño, tal y como vino a recordársele muy agradablemente en la última etapa de su viaje, en un camino a las afueras de París.

Viajaba en un coche tirado por un caballo, y conversaba con sus compañeros de viaje, cuando uno de ellos, un botánico, le preguntó su nombre. «Soy Daniel Bernoulli», repuso el hombre. Creyendo que le tomaba el pelo, el desconocido le replicó sarcástico: «Sí, y yo soy Isaac Newton».

Aunque Bernoulli repitió quién era, el botánico insistió en que su interlocutor era demasiado joven para ser el famoso Daniel Bernoulli. Pero cuando Bernoulli le dio pruebas de quién era, el agitado pasajero quedó en silencio, permaneciendo abochornado el resto del viaje.

Bernoulli se rió para sus adentros. Si ya era famoso, pensaba para sí, espera a que el mundo académico tenga la ocasión de leer su manuscrito. Solo hacía falta completar un capítulo más y luego podría publicarse.

Cuando finalmente llegó a Basilea, Bernoulli fue recibido como un héroe por miembros del senado académico de la universidad, viejos amigos y ciudadanos. Hasta de su propio y anciano padre recibió un educado saludo y una invitación a aposentarse en su casa.

No tardó el joven Bernoulli en readaptarse a la vida en su ciudad natal. El clima era benigno, lo mismo que el destino. Como profesor de anatomía y botánica, tenía que dar clases, cosa que le encantaba hacer y, lo que era más importante, tenía muchísimo tiempo para trabajar en su manuscrito.

Sin embargo, en 1734, justamente cuando las cosas parecían ir viento en popa, la recepción paradisíaca que había tenido Bernoulli se volvió una pesadilla. Fue el año en que su padre y él quedaron seleccionados como coganadores del concurso de la Academia francesa.

Aunque ambos habían ganado ya por su cuenta un primer premio, al padre le dolía admitir que a tan temprana edad le igualara el hijo y que, como matemático, probablemente le sobrepasara. Por su parte, el hijo carecía del tacto suficiente para disimular su juvenil arrogancia.

Las buenas noticias de la Academia, por tanto, terminaron degenerando en una colisión de engreimientos después de la cual, el joven Bernoulli se trasladó a vivir a un piso propio y se sumergió en el trabajo. Durante el día, daba clases y mantenía reuniones con los alumnos y el profesorado; durante la noche trabajaba en sus queridos fluidos, llegando a terminar el manuscrito hacia finales de año.

Adelantándose a ese momento, Bernoulli había organizado que el manuscrito se imprimiera en Estrasburgo (Francia), la ciudad en la que trescientos años antes había inventado Johann Gutenberg los tipos móviles y que era entonces famosa por sus casas editoriales. Usaban las prensas más avanzadas existentes, pero aun así, la impresión y el encuadernado de esa época eran procesos lentísimos.

Por tal motivo se tardó más de *tres años* en terminar el trabajo. Hasta 1738 no pudo tener finalmente en sus manos Bernoulli el fruto impreso y encuadernado de sus esfuerzos de adulto. Al abrir la tapa, se le humedecieron los ojos porque allí lo tenía, blasonado en el frontispicio: *Hidrodinámica*, por Daniel Bernoulli, hijo de Johann.

De nuevo había querido identificarse de aquella humilde manera para evitar comenzar otra confrontación con su padre, para demostrar que Daniel Bernoulli no era el hijo ingrato que su padre le había acusado de ser. Pretendía ser un afectuoso homenaje al legado y a la fama de su padre, pero iba a terminar siendo un homenaje al legado de pendencias y puñaladas traperas de los Bernoulli.

El trágico vuelco de la situación comenzó al mismísimo día siguiente, cuando un emocionado Bernoulli envió diversos ejemplares del nuevo libro a su amigo Euler, en quien confiaba. Le dijo que se quedara con un ejemplar y que repartiera el resto entre diversos colegas importantes de San Petersburgo, incluyendo también a la nueva emperatriz Anna Leopoldovna. «Por favor, ruégala que acepte esta mi obra como señal de gratitud —escribió obsequioso—, asegurándola que en absoluto pretendo obtener ningún beneficio tangible de este obsequio que le hago».

Lo cierto es que sí estaba esperando obtener beneficios de la Academia, aunque no fueran tangibles. En los últimos años, la relumbrante Academia de San Petersburgo había llegado a ser tan prestigiosa como las antiguas y venerables academias de París, Berlín y Londres. Por ello podía esperarse que la fama de Bernoulli creciera sustancialmente una vez que su libro llamara la atención de sus distinguidos miembros.

Después de casi diez meses de no saber nada, Bernoulli escribió ansiosamente a Euler, respondiéndole su querido amigo con la peor de las noticias imaginables: ¡no había habido reacción a su nuevo libro porque los ejemplares no habían llegado!

Atónito, Daniel estaba tan fuera de sí de ansiedad que acosó a Euler durante todo el año siguiente, aunque en vano. Finalmente, en 1740, le llegó la noticia, por fin, de que los libros se habían recibido; con todo, Bernoulli se sintió desalentado por la débil alabanza que le dedicó Euler y por la explicación un tanto extraña que Euler daba como razón de tan largo retraso.

Según le explicaba Euler, más de un año después de que se imprimiera el libro de Bernoulli, el propio padre de Bernoulli le había enviado a Euler parte de un manuscrito que, supuestamente, contenía investigaciones originales sobre los fluidos en movimiento. El anciano había propuesto que se le diera el nombre de *Hidráulica*.

La existencia de ese manuscrito parcial le había llegado como una completa sorpresa, explicaba Euler en su carta al joven Bernoulli, porque el que fuera su mentor no le había mencionado nunca que estuviera trabajando en semejante idea. Fiándose de la palabra del viejo profesor, sin embargo, Euler había aguardado con ansiedad la segunda parte del manuscrito.

Había llegado a finales de 1740 y Euler lo leyó enseguida, junto con el libro de Daniel que, para esa época, ya estaba en Basilea. Había escrito unas reseñas sobre ambos libros, terminaba diciendo Euler, intentando no dejarse llevar por su lealtad hacia ninguno de aquellos dos hombres; y esperaba no haber herido los sentimientos del joven Bernoulli.

Daniel Bernoulli se sintió apabullado por la carta de Euler. Tres años después, en 1743, se quedó desolado cuando apareció impreso el libro de su padre. El viejo Bernoulli había dado órdenes al editor de que imprimiera en la página del título el año «1732» aparentando así que su *Hidráulica* se había escrito *antes* que la *Hidrodinámica* de Daniel.

Aún más. En el prefacio había un extracto revelador de la reseña y panegírico que había escrito el

discípulo de Johann Bernoulli, Leonhard Euler: «Quedé absolutamente atónito por la felicísima aplicación de Sus principios a la solución de los problemas más intrincados, en razón de lo cual… su muy distinguido Nombre será reverenciado para siempre por las futuras generaciones».

Cosa que ya era suficientemente dolorosa, aunque cuando Bernoulli siguió leyendo la efusiva reseña de Euler se le impuso una angustia indescriptible: «Pero ha explicado tan clara y llanamente la cuestión más abstrusa y oscura sobre la presión que las paredes de los conductos experimentan como resultado del flujo del agua por ellos, que no queda nada más por explicar en relación con este enrevesado asunto».

Daniel Bernoulli no podía demostrarlo, pero siempre sospechó que su padre le había plagiado y que su amigo Euler había jugado a dos bandas. «Se me ha despojado de mi entera *Hidrodinámica*, por la cual no tengo desde luego que atribuir a mi padre ni el crédito de una coma —se lamentaba Bernoulli—, y así he perdido en una hora los frutos del trabajo de diez años».

Bernoulli estaba convencido de que Euler había retrasado a propósito una respuesta a sus repetidas peticiones para poder dar al viejo Bernoulli el beneficio de un poco más de tiempo en el que completar su despreciable acción. Sin duda, el subterfugio había sido la manera leal de Euler de devolver al anciano su ayuda por haberle adiestrado durante tantos años, y asimismo el modo que tenía Johann Bernoulli de devolverle la pelota a su brillante hijo por haber pasado por encima de él y haberle humillado en tantísimas ocasiones.

«Lo que mi padre no reclama para sí de manera absoluta, lo condena —se quejaba un amargado Bernoulli a Euler—, y por último, y en la cumbre de mi desdicha, añade la carta de Su Excelencia en la que también vos desmerecéis mis invenciones en un campo en el que soy el primero, e incluso el único, autor».

Daniel Bernoulli nunca perdonó a su padre haberle robado la gloria que correspondía por ser el primero en descubrir la ecuación de los fluidos en movimiento. Sobre todo, no le perdonaría nunca haber echado por tierra su sueño adolescente de convertirse en el Isaac Newton de su época.

Como continuación a estos trágicos sucesos, el joven Bernoulli se irritó con Dios, cuyo plan para él había resultado ser tan mezquino. También estaba decepcionado de la ciencia, cuya incapacidad de predecir el futuro, su futuro, era tan doloramente evidente en aquellos momentos.

Por ello, finalmente, desalentado ante su sobrecogedor destino y ante su carrera aparentemente sin sentido, Daniel Bernoulli decidió hacerse cargo de su propio destino: abandonó las matemáticas: «Ojalá hubiera aprendido el oficio de zapatero en lugar del oficio de las matemáticas. También llevo mucho tiempo sin ser capaz de decidirme a trabajar en nada matemático. El único placer que me queda es trabajar en algunos proyectos en la pizarra de vez en cuando para que luego queden olvidados».

EPÍLOGO

Los humanos han encontrado fácil volar como pájaros en el terreno mitológico. Por ejemplo, en una leyenda noruega del siglo V un herrero que fabrica armas, llamado Wayland, se hace un traje de plumas siendo capaz de volar obedeciendo estas dos simples reglas del aire: «*Contra* el viento te levantarás con facilidad. Luego, para descender, vuela *a favor* del viento».

Sin embargo, en la realidad nuestros primeros esfuerzos para volar como pájaros terminaron en

desastre. En toda la Edad Media era un pasatiempo popular saltar de altas torres con alas caseras atadas a los brazos. Con suerte, los atrevidos salían del trance con el cuerpo lleno de huesos rotos.

Con la publicación en 1680 del estudio matemático sin precedentes de Giovanni Borelli sobre el poder muscular humano, el mundo tuvo su primera lección acerca de lo pobremente equipado que para el vuelo estaba el cuerpo humano. «Está claro que el poder motriz de los músculos pectorales en los hombres —proclamaba Borelli— es mucho menor del necesario para el vuelo».

Según los cálculos de Borelli, el ser humano necesitaría unos pectorales *veinte* veces más fuertes de lo normal para ser capaz de levantarse del suelo utilizando unas alas de un tamaño razonable. Borelli llegaba a la conclusión de que la única esperanza era aligerar el cuerpo de tal manera que la persona pudiera *flotar* en el aire «de la misma manera que una tira de plomo puede flotar en el agua si se le adhiere cierta cantidad de corcho».

La visión de Borelli de unos cuerpos flotando en el aire se hizo real en 1783, cuando los hermanos Montgolfier, Etienne y Joseph, se convirtieron en los primeros que hicieron volar un globo lleno de aire caliente. No llegaron muy alto en su globo de papel y tela bellamente ornamentado, pero atrajeron la atención de todo el mundo…, ¡por no mencionar lo que asustaron a los pájaros!

La teoría que sustentaba a estos globos era bien sencilla, a saber, el principio de Arquímedes. El problema estaba en saber cómo controlarlos. En 1785 dos franceses, Pilâtre de Rozier y Pierre-Ange Romain, se estrellaron cuando intentaban cruzar el canal de la Mancha a bordo de un inmenso y poco manejable globo que se comportó como le dio la gana.

En términos científicos, a los globos y a los dirigibles se los llamaba *aerostáticos* (el equivalente aéreo de la hidrostática) porque su peso lo sustentaba completamente la flotación en el aire inmóvil. Por contra, a los vehículos sustentados por el movimiento del aire se los llamó *aerodinámicos* (el equivalente aéreo de la hidrodinámica).

A lo largo de todo el siglo XVIII, estas distinciones técnicas quedaron relegadas por los desastres humanos. Mientras algunos temerarios intentaban dominar los controles de esos monstruos aerostáticos, otros tenían incluso menos suerte en despegar del suelo en sus artefactos aerodinámicos.

Por ejemplo, en 1742, el marqués de Bacqueville se colocó cuatro alas de tela almidonada en pies y manos. Al saltar de la margen izquierda del Sena, cayó como una piedra y se rompió una pierna al aterrizar encima de la barcaza de una lavandera.

Conforme pasaban las décadas e iba aumentando la cuenta mortal de estos presuntos aviadores, el optimismo humano cayó en picado. En el siglo XIX no pocos se preguntaban si la historia no estaría tratando de decirnos algo: a saber, que estábamos destinados a vivir nuestra existencia pegados a la tierra sin llegar a conocer nunca lo que se siente al cernerse como un águila en el aire.

«Las máquinas de volar más pesadas que el aire son imposibles», declaró William Thomson, uno de los físicos británicos más famosos. Hasta Thomas A. Edison, la mismísima encarnación de la visión y de la insistencia, dudaba de que pudiéramos volar. «Las posibilidades del avión —concluía con pesimismo— ya han sido exploradas todas».

Si la historia había enseñado a los ciudadanos del siglo XIX a ser escépticos en cuanto a los esfuerzos científicos para abandonar el suelo, también les había enseñado a ser escépticos en cuanto a los esfuerzos científicos para predecir el futuro. Doscientos años antes, el esperanzado plan de Leibniz de utilizar el cálculo para adivinar las exigencias de la vida había fracasado de manera tan absoluta que el autor teatral francés Voltaire lo había puesto en solfa en *Cándido*, una comedia satírica malintencionada en la cual Leibniz quedaba identificado con el simplón doctor Pangloss.

Eso no quiere decir que en el siglo XIX *todos* hubieran abandonado por completo aquella ensoñación de Leibniz. Y ciertamente volvieron a resurgir las esperanzas cuando el monje austríaco Gregor Johann Mendel descubrió las leyes de la herencia y el psiquiatra austríaco Sigmund Freud formuló las bases del psicoanálisis.

Los filósofos volvieron a conjeturar que quizá el comportamiento de las personas no fuera tan irracional como para que no pudieran profetizarlo las leyes racionales de las matemáticas y de las ciencias. Conociendo «todas las fuerzas que dan movimiento a la naturaleza y las condiciones respectivas de todos los seres vivos», manifestaba entusiasmado un brillante matemático francés llamado Pierre Simon de Laplace, «nada podría ser incierto para inteligencia tal, y tanto futuro como pasado se abrirían por igual a su mirada».

También en la aviación se abrieron nuevas esperanzas cuando George Cayley, un joven barón británico que de chico se había maravillado con las hazañas de los hermanos Montgolfier, diseñó una máquina voladora que para ascender no dependía del movimiento de las alas.

El avión, pues así lo llamó, de Cayley tenía un fuselaje cuya forma aerodinámica estaba conformada a semejanza del cuerpo hidrodinámico de una trucha. En lo alto, como una gran ala inamovible llevaba una cometa. No era muy agraciado pero fue el predecesor del avión moderno de la actualidad.

En un principio, Cayley había construido y probado planeadores *sin piloto*. Sin embargo, funcionaban tan bien que, en 1849, se atrevió a meter a un chicuelo en su interior. Para gran delicia de Cayley «se elevó a varios pies del suelo».

En 1853, y envalentonado por su éxito, el barón convenció a su cochero para que se introdujera en la cabina de su planeador más reciente y lo tiró colina abajo. El vuelo que atravesó el valle terminó con éxito, pero el piloto quedó tan traumatizado por la experiencia que se despidió sobre la marcha: «Me contrataron para conducir —gritaba histérico— no para volar».

Después del éxito asombroso de Cayley, pronto empezaron los inventores a añadir motores de gasolina a las máquinas voladoras de alas fijas. En lo fundamental aquellos vehículos de aspecto extraño empezaron a parecer cometas propulsadas por aspas de molinos de viento.

En las décadas siguientes, aquellos aviones motorizados volaron (o, para ser más exactos, saltaron) dejando atrás numerosos hitos. Sin embargo, el gran final iba a ser el histórico vuelo de los hermanos Wright cerca del pueblo costero de Kitty Hawk, en Carolina del Norte.

Wilbur y Orville Wright eran propietarios de una tienda de bicicletas en Dayton (Ohio). Arreglaban y construían bicicletas para ganarse la vida pero durante años dedicaron todos sus conocimientos a la tarea de construir un avión movido por gasolina.

Una vez terminada su nueva máquina voladora, decidieron probarla en Kitty Hawk debido a las fuertes y sostenidas brisas marinas del lugar. Al igual que el mítico Wayland, creían en la idea de que «*contra* el viento te elevarás fácilmente».

El 17 de diciembre de 1903, a las 10:35 de la mañana, con la camisa arrugándose al viento, un ansioso Orville se acercó a la máquina, se metió en la carlinga del piloto y dio a su hermano la señal de arrancar el motor. Al instante se vio llevado por la arena y elevado en el aire.

Mientras volaba a lo largo de la costa, trataba de hacerse con los controles, consiguiendo mantener al desvencijado aparato en el aire durante doce segundos. En tan breve plazo de tiempo, Orville había conseguido que él y su hermano entraran directamente en los libros de historia.

Era la primera vez que un avión autopropulsado, controlado por un ser humano, había volado

durante un tiempo significativo. El vuelo solo había durado doce segundos, pero como reflexionó su hermano Wilbur, que lo había visto desde el suelo, «ha llegado por fin la era de la aviación».

Después de tantos siglos, la historia demostraba que los que lo negaban estaban equivocados. También se había demostrado una verdad aún mayor: el destino suele sorprendernos muchas veces pero, por nuestra parte, también somos capaces de sorprender al destino.

Porque sin comprender todavía cómo podía volar un avión estábamos sin embargo lejos de conquistar los cielos. A pesar de los hermanos Wright éramos bien parecidos a aquellos primeros homínidos que habían utilizado el fuego originado por los rayos sin saber cómo prenderlo por sí mismos.

Sin embargo, en 1871, los científicos ya habían empezado a construir túneles de viento para estudiar la aerodinámica de las alas. Al ser conductos de poco diámetro con un chorro de aire que circulaba a gran velocidad, los túneles de viento recordaban a los conductos de Bernoulli de agua a gran velocidad.

Lo normal era que los técnicos colocaran aviones en miniatura dentro de esos túneles de aire y que arrojaran en su interior algo de polvo metálico para poder hacer visibles las corrientes de aire; en ese aspecto remedaban a Leonardo da Vinci que había utilizado semillas de hierba para estudiar las corrientes de los ríos.

Una de esos ingenieros era un ruso llamado Nikolái Zhukovski. Cuando era un niño de seis años se había quedado prendado de las cometas después de que le contaran cómo los rusos, en el año 906, habían utilizado cometas con forma de jinetes gigantescos para asustar a los griegos y obligarles a rendir Constantinopla.

De joven había pensado hacerse ingeniero militar igual que su padre. Sin embargo, y según su destino Nikolái Zhukovski terminaría siguiendo los pasos de alguien con quien no tenía nada que ver y que le era desconocido: Daniel Bernoulli.

Al igual que Bernoulli, el joven Zhukovski amaba las matemáticas y el estudio de los objetos sólidos que se movían a través de fluidos, siendo uno de sus casos preferidos el de las cometas que luchaban contra el viento. También fue casualidad que Zhukovski se apuntara a una escuela cercana a la famosa Academia de San Petersburgo aunque lo dejó al poco tiempo porque «las clases no eran nada buenas» y el áspero clima era todavía peor.

En el curso de sus estudios posteriores en la Universidad de Moscú, Zhukovski supo de los numerosísimos logros y de las múltiples hazañas de la famosa familia Bernoulli. Descubrió que su tempestuosa historia era tan cautivadora como el asunto de las cometas.

Zhukovski leyó lleno de fascinación que, a pesar de la descorazonadora experiencia con su padre, Daniel Bernoulli había llegado a ganar ocho premios más de la Academia francesa hasta llegar ¡a un total de diez! Aquello había quedado como una mejor marca de todos los tiempos solo superada por Euler, que había ganado doce premios, tan solo uno menos que el número de hijos que le dio su esposa.

Por lo que respecta a Johann Bernoulli, aunque no había ganado más premios, había seguido menospreciando a su hijo y fingiendo para la posteridad. Había muerto en 1748, casi ciego, asmático y aquejado de gota, en la creencia de que el destino, sin que él supiera por qué, le había hurtado sus merecidas recompensas.

Daniel Bernoulli había muerto en paz mientras dormía, a la edad de ochenta y dos años. Euler, que para entonces ya se había quedado ciego, había seguido tan atareado como siempre y había terminado

por necesitar un centenar de páginas simplemente para hacer una lista de sus trabajos publicados.

Leyendo todo aquello, Zhukovski había sentido una afinidad superficial con Daniel Bernoulli, resultado de haber estudiado ambos en San Petersburgo y de haber dedicado su vida al estudio de los fluidos. También había contribuido a que Zhukovski se diera cuenta de cuánto habían cambiado las cosas en cien años.

En su época, Bernoulli había afrontado la cuestión de cómo medir la presión de la sangre. En ese momento, Zhukovski afrontaba una cuestión muy distinta, provocada por el éxito de los planeadores de Cayley: ¿Cómo era posible que volara un avión? ¿Qué era exactamente lo que lo elevaba en el aire y, en aparente desafío a la gravedad, lo mantenía sin caer?

Después de terminar su formación, Zhukovski fue nombrado profesor de la Universidad de Moscú, después de lo cual se aplicó a la tarea de responder esas cuestiones trascendentales. Después de años de súplicas, en 1891 había conseguido incluso convencer a la universidad de que le construyeran un pequeño túnel de viento.

En esa época, dos años después del sorprendente logro de los hermanos Wright, el propio Zhukovski, de cuarenta y cuatro años, estaba a punto de entrar volando en los libros de historia. Los aviones eran capaces de volar, anunció, debido a la ecuación del flujo de los fluidos de Bernoulli.

Para poder comprender lo que había descubierto Zhukovski solo hacía falta imaginarse un ala de avión desmontada dentro de un túnel de viento que tuviera el techo y el suelo planos. El perfil del ala era el característico, con una superficie inferior plana y una superficie superior redondeada.

La sección transversal de un ala típica, efectivamente, parece la mitad superior de una lágrima alargada que hubiera sido dividida longitudinalmente. Dentro del túnel de viento, como ocurre en el vuelo, el borde romo de esa semigota corta el aire mientras que la cola más afilada queda por detrás.

Dentro del túnel de viento, el ala rompe inevitablemente la corriente de aire en una corriente superior y otra inferior. La corriente superior circula entre la superficie superior del ala y el techo plano del túnel. La corriente inferior queda limitada por la superficie inferior del ala y el suelo plano del túnel. (En efecto, el «techo» del túnel tiene el papel de la parte alta de la atmósfera, y el «suelo» el de la tierra).

Zhukovski se había dado cuenta de que la corriente superior de aire era ligeramente *más estrecha* que la inferior. Y ello sencillamente porque la superficie superior del ala era redondeada, estrechando así el espacio que había entre el ala y el techo del túnel.

Según la Ley de la Continuidad de Leonardo da Vinci, razonó Zhukovski, la corriente superior (más estrecha) de aire circulaba más deprisa que la corriente inferior (más ancha) de aire. Era exactamente la misma razón por la que las aguas de un río se aceleraban bruscamente al llegar a un cuello de botella.

Según la ecuación de flujo de fluidos de Bernoulli, Zhukovski había llegado a la conclusión de que la corriente inferior (más lenta) de aire ejercía *más* presión que la corriente superior (más rápida). Es decir, la presión del aire que empujaba el ala hacia arriba era *mayor* que la presión del aire que la empujaba hacia abajo.

¿Resultado final? Que los aviones volaban porque la presión bajo las alas sobrepasaba la presión sobre ellas. O dicho de otro modo: los aviones se levantaban del suelo porque la relativa alta presión del aire que pasaba por debajo de las alas *las empujaba hacia arriba*. (O, lo que es lo mismo, los aviones volaban porque sus alas se veían *absorbidas hacia arriba* por la presión relativamente baja del aire que pasaba por la parte superior de sus alas).

En los años siguientes, los historiadores del siglo XX considerarían la extraordinaria explicación de Zhukovski como la conclusión drástica de una era y el comienzo de la siguiente. Comprendiendo por fin cómo eran capaces los aviones de desafiar la gravedad, los modernos ingenieros aeronáuticos fueron capaces de diseñar máquinas voladoras no solo con las manos sino con la cabeza.

Nuestra especie ha tardado *millones* de años en construir un avión que vuele como un pájaro; hemos tardado millones de años en pasar de movernos torpemente en torno a cavernas a elevarnos por encima de ellas. Sin embargo, una vez que supimos cómo volaban con exactitud los aviones, sorprendentemente solo nos hicieron falta *cincuenta* años para pasar de elevarnos sobre Kitty Hawk a adentramos en el espacio.

En último extremo, el reconocimiento pertenece a Daniel Bernoulli, cuya obra seminal en la hidrodinámica permitió que Zhukovski y otros hicieran que la especie humana despegara del suelo. Aunque irónicamente la mayoría de los libros de texto científicos caen rápidamente en la costumbre de llamar a la famosa ecuación de flujo de fluidos lisa y llana pero ambiguamente, principio de Bernoulli.

Como si cualquiera pudiera dudar seriamente de que fue Daniel Bernoulli el primero en descubrir la ecuación. O más bien, como si padre e hijo estuvieran destinados a disputársela quedando el resultado condenado para siempre a quedar en el aire.

CUESTIÓN DE CLASE

Michael Faraday y la Ley de la Inducción Electromagnética

No conozco hecho más alentador que el de la incuestionable capacidad del hombre para elevar su vida mediante un esfuerzo consciente.

HENRY DAVID THOREAU

Aquella noche, mientras el joven de diecinueve años Michael Faraday y sus amigos salían de la casa del profesor Tatum, el joven se detuvo maravillado ante las recientemente instaladas farolas de gas que ahora delineaban Dorsett Street. Qué rápidamente cambiaba el mundo, pensó; y cambiaba a mejor: las farolas de gas habían conseguido que caminar por las calles de Londres por la noche fuera mucho más seguro… y ciertamente las tasas de delincuencia habían caído desde que la ciudad había empezado a instalar aquella brillante y nueva iluminación hacía tres años.

Europa se veía agitada por una tormenta tecnológica y Faraday se sentía impaciente por participar en ella; por eso asistía a las clases de Tatum. Ni él ni los demás del grupo podían permitirse asistir a la universidad; provenían de familias pobres pero estaban inflamados de deseo por superar las expectativas sojuzgantes de aquella sociedad suya caracterizada por una clase alta tan pagada de sí misma.

El propio Faraday era aprendiz de impresor. De someterse a su supuesto destino, seguramente terminaría por no hacer nada más que libros para que leyeran los miembros de las capas más altas de Inglaterra. Sin embargo, y por haber tenido un maestro que hacía hincapié en su ambición de superar el escaso lote que le había tocado en suerte, el joven Faraday se permitía esas veladas ocasionales para formarse en los misterios del mundo natural.

La clase de Tatum correspondiente a aquella tarde había versado sobre el extravagante descubrimiento de Luigi Galvani de la «electricidad animal». Diecinueve años antes, en 1791, el anatomista italiano había experimentado con chispas eléctricas descubriendo que invariablemente hacían que se encogieran unas ranas muertas colocadas en las proximidades. El emocionado Galvani había llegado a la conclusión de que, casi con absoluta seguridad, aquello significaba que la electricidad era la fuente de toda existencia animada.

Enterarse de tan notable descubrimiento había sido especialmente interesante para Faraday porque su padre había muerto tan solo una semana antes. Por eso, mientras el joven se encaminaba a su casa, se preguntaba si Galvani habría descubierto de verdad un procedimiento para crear vida.

Mientras se ponía el abrigo, Faraday intercambió despedidas con sus amigos y les observó dispersarse por la ciudad sordamente iluminada. Era otoño, de modo que la niebla era particularmente espesa, cosa que hizo dudar a Faraday durante un momento: su familia acababa de mudarse a aquella zona de Londres y todavía necesitaba asegurarse de que se encaminaba en la dirección correcta.

No era cosa de perderse en los alrededores, pensó con una débil sonrisa. No es que se quejara: su padre no había podido permitirse otra cosa y además las cosas bien podían empeorar, habida cuenta de que contaba solo con su humilde estipendio de aprendiz para sostener a su madre y a sus hermanos menores.

A medio camino, le detuvo un policía que le preguntó con cierta sospecha antes de permitirle continuar. Algún día sería distinto, murmuró para sí el joven Faraday; sería un respetado filósofo de la naturaleza y todo el mundo le trataría como a un caballero.

Al cabo de un rato, al doblar la esquina de Weymouth Street, Faraday se sintió aliviado al ver las luces de las velas en la casa del número 18: le recordaron el calor en el que había crecido. Sin embargo, también se sintió terriblemente solo y triste porque le recordó cuánto echaba de menos a su padre.

Ya en la cama, mucho más tarde, el joven sollozó ocultando la cara en la almohada para que los demás no le oyeran. Había querido a su padre mucho más de lo que amaba la química, cosa que ya era mucho decir.

El joven Faraday recordaba la época, antes de que su familia se mudara a la ciudad, en que jugaba en el pajar del viejo granero. Se había caído por un agujero de las tablas pero los brazos acogedores de su fornido padre, que como de costumbre estaba trabajando en el yunque que había abajo, le habían salvado de una posible muerte.

Abrumado por la pena, el joven Faraday tomó la decisión de arrancarse de la servil existencia en la que había nacido. Cierto, tendría que seguir trabajando en la encuadernación para poder sostener a su familia pero estaba decidido a desarrollar su mente y a convertirse, a largo plazo, en químico.

Mientras lloraba la ausencia de su padre y pensaba en su incierto futuro, Faraday comenzó a amodorrarse. Se le caían los párpados y sus últimos pensamientos fueron para la clase que había dado Tatum.

Galvani había creído que la electricidad era la chispa de la vida. ¿Tendría razón?, se preguntaba el joven Faraday. No se podía desechar la idea sin más habida cuenta de lo poquísimo que sabían los científicos del fenómeno de la electricidad estática.

En su creciente amodorramiento, la imaginación científica de Faraday se apoderó de él. ¿Qué habría ocurrido si hubiera estado más atento cuando su padre exhaló su último suspiro? En la oscuridad, ¿habría sido capaz de ver dentados y luminosos dedos de electricidad estática saliendo del cuerpo moribundo de su padre? Se daba cuenta de que eran cuestiones morbosas pero que excitaban su naciente curiosidad científica.

Aquella noche, aun cuando el joven terminara por dormirse, algo se había despertado en él, animado por las chispas de Galvani. Algo que iba más allá de las preguntas sobre la muerte de su padre, algo más allá de la macabra teoría del anatomista italiano; eran los atisbos de una nueva ciencia.

Sin embargo, antes de poder formularla y de que fuera aceptada, aquel impresor de cuello azul necesitaría librar la batalla contra la arrogancia y la ignorancia del estamento científico de sangre azul de su época. Iba a ser una lucha difícil y dramática pero, al final, el joven hijo del herrero electrificaría el mundo gracias a su espíritu de primera categoría y a una ecuación sumamente chocante.

VENI

Era el año 1791 y el mundo civilizado pasaba por las angustias de la lucha de clases con una intensidad que nunca se había visto: repentinamente, tanto en el Viejo Mundo como en el Nuevo la gente del común se atrevía a mejorar su posición revolviéndose contra el *statu quo*.

En el Nuevo Mundo, los colonos norteamericanos habían redactado una Declaración de Independencia sin precedentes, liberándose de Gran Bretaña. En el Viejo Mundo, una vez que los ciudadanos franceses de las clases bajas hubieron tomado la prisión de la Bastilla en París, Luis XVI accedió a regañadientes a sus exigencias firmando una Declaración de los Derechos del Hombre y del Ciudadano.

Además, y en la misma época, las clases trabajadoras de Norteamérica y de Europa tenían que adaptarse a las exigentes demandas de otro resurgir sin precedentes, la Revolución industrial. En Inglaterra, por ejemplo, los trabajadores textiles se habían rendido ya a millares ante un revolucionario ejército de soldados movidos por vapor.

La Revolución industrial había comenzado cincuenta y ocho años antes, en 1733, cuando John Kay inventó la lanzadera móvil, un dispositivo que había acelerado tanto el funcionamiento de los telares que las *ruecas* no habían sido capaces de estar a la par para producir la cantidad de hilo necesario. Después, en 1765, James Hargreaves había inventado una máquina que podía hilar ocho bobinas de algodón al mismo tiempo; después de semejante invento, fueron los *tejedores* los que no pudieron estar a la altura del invento.

A renglón seguido, en 1787, el reverendo Edmund Cartwright inventó el telar de vapor, permitiendo así que los tejedores se mantuvieran a la par de las ruecas pero obligando a los *cultivadores* de algodón a producir más materia prima. También a los pocos años quedaría resuelto tal problema: Eli Whitney inventaría la desmotadora de algodón que retiraba las semillas del algodón en crudo ¡doscientas veces más deprisa que cualquier ser humano!

En 1791 las veloces máquinas de la Revolución industrial habían incrementado la productividad y los beneficios hasta unos límites desconocidos. Sin embargo, había sido a costa de las clases trabajadoras que se encontraron entonces explotadas o despedidas por patrones que utilizaban la maquinaria recién inventada para enriquecerse rápidamente.

Hasta para James y Margaret Faraday, que vivían en el campo, lejos de los crecientes centros industriales de Inglaterra, aquel *coup de main* fue bastante certero. James había trabajado arduamente desde su niñez para convertirse en un consumado herrero; en ese momento, sin embargo, sus obras soberbiamente forjadas iban devaluándose sin parar por la creciente mejora de los productos hechos a máquina.

En un intento de encontrar más trabajo, James se mudó con su familia al pueblo de Newington, más cercano a Londres; necesitaba desesperadamente ganar más dinero. En épocas anteriores, su esposa había podido complementar sus ingresos trabajando a tiempo parcial como criada, cosa que no era posible en ese momento porque estaba embarazada de su tercer hijo.

El 22 de septiembre, cuando las hojas empezaban a caer de los árboles, dio a luz un hijo a quien llamaron Michael. Poco habían visto todavía los ojos de aquel infante pero ya su carita lloraba y fruncía el entrecejo ante las agitaciones sociales que se producían a su alrededor. Aunque contentos por su llegada, los Faraday estaban también angustiados: ¿Qué sería de aquel niño, de *todos* sus hijos, si James no conseguía encontrar pronto un trabajo seguro?

Su única fuente de consuelo en aquellos días desesperados fue su apasionada creencia en que Jesucristo les ayudaría a superar esa crisis, como había hecho tantas veces anteriormente. Los Faraday eran devotos miembros de lo que su hijo describiría más tarde como «una pequeñísima y despreciada secta de cristianos, conocida, si es que alguien la conocía, como los sandemanianos».

El fundador de la Iglesia, el fallecido Robert Sandeman, fue un hombre que había evitado los argumentos fantasiosos basados en las exégesis escolásticas de la Biblia. «Que Dios existe —insistía— resulta evidente de los intrincados ingenios de la Naturaleza. Que el que dude mire a los cielos y verá desaparecer sus dudas». Para él la cosa había sido así de llana y sencilla.

La mayor parte de los sandemanianos originarios eran personas que se habían separado de la Iglesia presbiteriana de Escocia y de la Iglesia de Inglaterra. Los sermones de esas iglesias les resultaban demasiado intelectuales y los desertores habían creado una secta que hacía hincapié en la fe infantil que Jesús había pedido a sus discípulos.

Lo cual quería decir, entre otras cosas, que los Faraday no creían especialmente en la educación reglada. Por ello, en 1796, cuando se mudaron a la zona norte de Londres, todavía en su búsqueda de unos ingresos regulares, a los niños no se les presionó lo más mínimo para que sacaran buenas notas en la escuela; y lo que era peor, la propia escuela, situada en una vecindad ruinosa, no era muy exigente tampoco.

En los años siguientes, la única época en la que los padres de Michael Faraday tuvieron un interés activo en su escolarización fue el día en que quisieron castigarle por llamar constantemente «Wabert» a su hermano mayor Robert. El maestro envió a Robert a comprar una vara para azotarle, pero en su lugar el chico se apresuró a ir a su casa y contárselo a su madre.

Los sandemanianos creían en el castigo corporal en consonancia con la admonición del Libro de los Proverbios, 13:24, que indicaba: «Quien escatima la vara, odia a su hijo, quien le tiene amor, le castiga». Pero el castigo era inaceptable a manos de personas ajenas a la secta, a las que los sandemanianos consideraban impuras. En consecuencia, después de escuchar el relato de Robert, Margaret cambió inmediatamente a sus hijos a otra escuela.

Aunque se le hubiera perdonado una azotaina, la calidad y la cantidad de educación recibida por el joven Faraday fue de mal en peor. No solo es que la nueva escuela fuera inferior a la primera, sino que el propio chico siguió careciendo de estímulo alguno por parte de sus padres, que estaban demasiado preocupados proveyendo a su bienestar físico y espiritual.

«Mi educación —se lamentaría más tarde Faraday— fue de lo más corriente, consistiendo en poco más que en los rudimentos de la lectura, la escritura y la aritmética en una escuela vulgar y corriente». Lo cual explica por qué, al cabo de los años de haber tenido aquellas escaramuzas con el castigo físico, seguía pronunciando mal el nombre de su hermano mayor: «Wabert», decía, y no por ser rebelde, sino porque no sabía cómo decirlo bien.

«Mis horas de escuela —recordaría Faraday— las pasaba en la calle». En un día cualquiera, él y su pendenciera panda de amigos recorrían la vecindad y luego jugaban a las canicas en la calle, en un callejón cercano a su desvencijada vivienda.

Durante esos años, los Faraday no dispusieron más que de unas pocas barras de pan a la semana… un subsidio del gobierno inglés. Y, con todo, incluso cuando la situación empeoró, los Faraday siguieron siendo una familia feliz.

Ciertamente, los sandemanianos nunca eran tan felices como cuando no tenían ni un penique. La pobreza les recordaba a Jesús que, siendo pobre, había advertido a los israelitas de que un rico tenía

menos posibilidades de entrar en el reino de los cielos que las que tenía un camello de pasar por el ojo de una aguja.

Por ese motivo, los sandemanianos eran gente fuerte y sin pretensiones, capaces de sobrevivir con muy poco, casi únicamente con su fe en la abundante misericordia del único Hijo de Dios. Y como creían que Dios había escogido especialmente a los sandemanianos para entrar en el cielo cuando morían, poquísimas cosas les asustaban… aparte la amenaza de la excomunión.

Aquel peligro se tomaba en serio razón por la cual al joven Faraday y a los demás niños sandemanianos se les permitía hacer el salvaje durante la semana aunque los domingos por la tarde se les exigía asistir a la iglesia. Faltar una sola vez sin excusa adecuada era motivo para ser expulsado de la iglesia.

A pesar de haber sido educado para ser un buen sandemaniano, a los ojos de la sociedad inglesa de su época Michael Faraday era poco más que un niño arrabalero pobre e ignorante. Y lo que era peor: con trece años, apenas sin saber leer ni escribir, le llegó el momento de abandonar la escuela.

Según las tradiciones de la clase trabajadora, el joven tenía que encontrar un trabajo. La fórmula era bien sabida: empezaría como aprendiz, etapa durante la cual adquiriría la destreza que le serviría para ganarse la vida, para él y para la que fuera su futura esposa.

En circunstancias normales, James Faraday hubiera deseado que su hijo se convirtiera en herrero. Pero aquellos tiempos no tenían nada de normales y eran todavía más precarios debido al hecho de que Inglaterra estaba en guerra con Francia.

Durante los primeros años del joven Faraday, el proletariado de Francia había guillotinado a Luis XVI y a su reina, María Antonieta. En ese momento, en 1804, la burguesía había coronado emperador a Napoleón Bonaparte, un general imperialista que pretendía conquistar el mundo con la ayuda de nuevas y mortales máquinas de guerra nacidas al calor de la Revolución industrial.

Mediante promesas de proporcionar un medio estimulante para la experimentación y la invención, Napoleón había atraído a Francia a jóvenes talentos científicos e ingenieros de todo el mundo, sobre todo de Norteamérica, nación que no habría podido obtener su reciente independencia sin la ayuda de Francia. En ese momento, ciertamente, un inventor estadounidense llamado Robert Fulton enredaba con barcos de vapor en el río Sena.

Parecía claro que el futuro era del vapor y de aquellos que explotaran su potencia, para bien o para mal. Por ello, aunque le partía el corazón admitirlo, Faraday padre sabía que su hijo no podía (no debía) seguir sus pasos.

Afortunadamente, la noticia no era tan mala. Conforme se incrementaba la automatización, también aumentaban las posibilidades para los obreros no especializados, para personas pobres y carentes de formación como Michael Faraday. Por ello, disponía de muchas oportunidades de empleo y las sopesó cuidadosamente.

Sin embargo, incapaz de escoger, el joven Faraday tomó una decisión provisional que resultó ser tan decisiva como irónica: aquel chico semianalfabeto de la ribera equivocada del Támesis decidió convertirse en el nuevo chico de los recados de una librería cercana regentada por el señor George Riebau.

El empleo no exigía que supiera leer. De hecho, lo único que tenía que hacer era deambular por la vecindad, algo en lo que aquel niño marginado estaba bien experimentado. No le pagaban mucho, había pensado, pero era preferible a verse enjaulado en uno de aquellos deprimentes y peligrosos talleres en los que se explotaba al obrero y que surgían por toda la ciudad.

Según se vio después, el empleo era deseable por otro motivo. Aunque Faraday no lo supiera, la tasa de alfabetización estaba subiendo en toda la Europa industrializada, en parte debido a las prensas mecanizadas y a los barcos, que abarataban y facilitaban la producción y distribución de los libros. En consecuencia, la gente los compraba como nunca, con lo cual el chico se mantenía muy ocupado.

Intrigado por aquel interés tan extendido por los libros, la propia actitud del joven Faraday hacia la palabra impresa empezó a cambiar lentamente. Esta milagrosa transformación se vio estimulada, además, por lo que ocurría en la trastienda de Riebau: allí se cosían las páginas de texto para formar los libros.

Aquel aspecto del negocio atrajo tanto al joven Faraday que en 1805 tomó la decisión de convertirse en aprendiz. Por primera vez en sus catorce años dejaba las calles. Nunca había entrado en una biblioteca pero durante los siete años siguientes llegaría hasta él una completa biblioteca de libros de todo el mundo.

Como novicio, Faraday tenía mucho que aprender y el trabajo no era fácil. La encuadernación fue una de las pocas artesanías que había sobrevivido a la Revolución industrial, precisamente porque requería una concentración mental y una destreza manual que ninguna máquina (y muy pocas personas) podían llevar a cabo.

A Faraday se le enseñó a reunir las páginas del impresor, coserlas, guillotinarlas y fijarlas a una cubierta de cuero hecha a mano. El proceso exigía una precisión científica; el producto era una obra de arte.

Aunque el joven aprendiz se quedó sorprendido del esfuerzo que suponía hacer un libro, se vio igualmente sorprendido al descubrir lo difícil que era el hecho de leerlo. Se fue sintiendo cada vez más frustrado y furioso ante su incapacidad de disfrutar de los esfuerzos de su trabajo, como el obrero de la construcción que descubre que no está cualificado para asistir al colegio que ha contribuido a construir.

En consecuencia, el joven adolescente empezó a aprender por su cuenta. Fue un proceso arduo y laborioso, pero en cuestión de meses, compensó todo lo que había dejado de aprender durante aquellos años de escuela pública.

Un día, mientras cosía la última edición de la *Encyclopaedia Britannica*, la vida de Faraday cambió para siempre. Al leer la entrada sobre la electricidad en la página 127, Faraday averiguó que aunque los filósofos de la naturaleza conocían aquel fenómeno invisible desde hacía siglos, todavía no habían logrado saber en qué consistía.

En su interior algo se agitó, recordándole aquel versículo del Nuevo Testamento que había oído un millar de veces, extraído de la Epístola a los Romanos 1:20: «Porque lo invisible de Dios, desde la creación del mundo, se deja ver a la inteligencia a través de sus obras: su poder eterno y su divinidad, de forma que son inexcusables».

En tanto que la electricidad siguiera siendo invisible y enigmática (lo cual quería decir *no* «vista claramente» y *no* «comprensible») sería imposible que nadie tuviera una comprensión adecuada del «poder eterno de Dios y de su divina naturaleza». El joven sandemaniano pensó que aquello era intolerable y en aquel mismo momento decidió contribuir a remediar la situación.

Como se le había educado en la creencia de la simplicidad fundamental de la relación humana con Dios, Faraday dudaba de que la electricidad fuera tan complicada. Afortunadamente, el Londres de su época ofrecía a aquel joven sin prejuicios, oportunidades sin cuento para averiguarlo por sí solo.

Durante los últimos años, la Revolución industrial había provocado tal interés en la ciencia y en la

tecnología que los filósofos de la naturaleza habían comenzado a escribir artículos en revistas populares y libros de divulgación, así como a dictar lecciones especialmente destinadas al público en general. Los libros se agotaban en cuanto se publicaban y las conferencias solían dirigirse a un público que abarrotaba las salas.

Para Faraday, aquella demanda sin precedentes de libros científicos era una bendición doble: como encuadernador, significaba seguridad en el empleo; como presunto filósofo de la naturaleza, significaba encontrar abundante información sobre la electricidad escrita en un inglés sencillo. Faraday recordaría después que «en aquellos libros, después de la jornada de trabajo, encontré el principio de mi filosofía».

Mientras disfrutaba con los libros de los que disponía libremente, sin embargo, Faraday se mostraba cariacontecido por ser tan pobre y no poder adquirir entradas para ninguna de las conferencias públicas y sobre todo para aquellas que daba Humphry Davy, el famoso químico y director de la prestigiosa Real Institución de Londres. En los años anteriores, las vivaces y extravagantes presentaciones que hacía Davy habían recibido tan buenas críticas que se convirtieron en legendarias.

Al adolescente le había acometido el deseo de ver a Davy en acción, deseo razonable considerando que la Real Institución tenía su sede a poca distancia de la tienda de Riebau. Sin embargo, tal y como lo veía la sociedad inglesa, habría sido igual que si aquel presuntuoso aprendiz hubiera querido visitar un castillo encantado en una tierra lejana.

En la Inglaterra del siglo XIX, la ciencia no era todavía una profesión remunerada de modo que los únicos que podían afrontarla eran los muy ricos. La Real Institución era como un club de campo exclusivísimo y sus aristocráticos miembros nunca se hubieran dignado a codearse con gentes como Michael Faraday o de tan baja clase.

La cosa no paraba ahí: todavía más elitista que la Real Institución era la Real Sociedad, también en las proximidades; sus miembros eran el equivalente de la realeza científica. Por ello, el deseo de Faraday de convertirse en un científico era parecido al del pobre que quiere convertirse en príncipe.

Afortunadamente, el joven proletario no era todavía tan viejo como para comprender nada de eso y su maestro Riebau tenía un corazón lo suficientemente amable como para no arrebatarle sus fantasías. Por el contrario, Riebau simpatizó tanto con aquel deseo que tenía el chico de una vida mejor que cedió al ruego de Faraday de convertir parte de la tienda en un laboratorio improvisado. Tras la jornada laboral, la chimenea de Riebau se convertía en horno para Faraday y la repisa en mesa de trabajo. Por supuesto que el equipo de laboratorio de Faraday era muy basto paro hacer experimentos, y anotar cuidadosamente los resultados en su diario le hacía sentirse un auténtico filósofo.

En los meses que siguieron, el adolescente se construyó un generador electrostático, un dispositivo manual que creaba chispas de electricidad estática. También se las apañó para ahorrar unos pocos chelines y comprarse un par de botellas de Leyden; la electricidad estática era escurridiza por naturaleza pero se la podía atrapar y guardar dentro de aquellas botellas, como si fuera una luciérnaga.

Faraday también empezó a leer libros del tipo hágalo usted mismo, porque se daba cuenta de que si tenía que ser hombre de ciencia, tendría que aprender no solo las teorías sino también sus técnicas. En *La mejora del espíritu*, libro escrito por el doctor Isaac Watts, Faraday aprendió las cuatro mejores formas de convertirse en inteligente: ir a conferencias, tomar cuidadosas notas, mantener correspondencia con personas de intereses similares y unirse a un grupo de discusión.

En 1810, al no poder pagar la asistencia a las conferencias más llamativas, Faraday se unió a un

grupo de discusión que estaba compuesto fundamentalmente por jóvenes trabajadores que aspiraban a mejorar su situación en la vida. A las ocho de la noche, todos los miércoles, y con permiso de Riebau, Faraday abandonaba el trabajo y caminaba hasta la casa de un maestro de ciencia llamado John Tatum.

Durante aquellas reuniones, bien Tatum o bien uno de los asistentes daba una charla sobre un asunto de su elección. Faraday siempre escuchaba con atención y tomaba notas cuidadosamente; había planeado encuadernar todas sus notas para formar un libro, grande y hermoso, una vez que terminara las clases.

Cuando le llegó a Faraday el turno de dar su charla, habló de la electricidad y obtuvo una cálida y entusiasta respuesta de sus compañeros. Tatum no era Davy ni su casa la Real Institución pero a solo un chelín por semana aquellos encuentros eran bien asequibles e ilustrativos.

En el curso de su aprendizaje para ser filósofo de la naturaleza, Faraday se reveló tan receloso en materias científicas como creyente en materias religiosas. Así como aceptaba literalmente y sin preguntas lo que estuviera escrito en la Sagrada Biblia, ponía a prueba cualquier afirmación hecha en los libros escritos por meros mortales.

«En mis primeros años yo fui una persona muy imaginativa, que lo mismo creía *Las mil y una noches* que lo escrito en la *Encyclopaedia* —recordaría después Faraday—, pero los hechos eran importantes para mí y fueron los que me salvaron. Podía confiar en los hechos y confrontar las distintas afirmaciones».

Para Faraday, los hechos eran tan sagrados como los versículos de las Escrituras por ser ambos los únicos medios fiables de comprender la creación de Dios. Por ello, todas las noches, una vez que todos los demás se habían ido, el joven se encerraba en la tienda con laboratorio de Riebau y repetía todos los experimentos mencionados en los libros que había leído. «Nunca fui capaz de dar por bueno un hecho sin haberlo visto», confesaría más tarde.

Faraday nunca se había sentido tan vivo como en esa época, pero no se podía decir lo mismo de su padre, que llevaba sufriendo mucho tiempo: No hacía mucho que Faraday padre había escrito a Thomas, hermano de Michael, para quejarse: «Siento decir que no he tenido el placer de disfrutar un solo día de salud desde hace mucho tiempo».

Los médicos estaban desconcertados ante la enfermedad que debilitaba a su padre, diagnosticando que se convertiría en un inválido. Por ello, y por última vez, se mudaron los Faraday a un nuevo piso mejor situado, más cerca del centro de la ciudad. Sin embargo, James Faraday murió a los pocos meses.

En los años siguientes, Michael Faraday contribuyó a mantener a su madre y a sus hermanos mientras alimentaba su esperanza de convertirse en filósofo de la naturaleza. Pero en 1812, año en el que debía terminar su aprendizaje, con todo su pesar comenzó a rendirse a la probabilidad de tener que vivir ajustándose a las expectativas de la sociedad: a menos que ocurriera algo milagroso que cambiara el curso de su vida, parecía estar condenado a ser encuadernador como su maestro Riebau, teniendo la ciencia como simple afición.

Sin embargo, cuando el invierno tocaba a su fin, un hombre llamado Dance Junr entró en la librería… y también en la vida de Faraday. Durante su última visita, Junr había visto el recargado libro que Faraday había confeccionado con sus notas sobre las conferencias de Tatum. Con curiosidad por su contenido, Junr había pedido a Riebau llevárselo prestado un tiempo y Riebau se lo había concedido.

En ese momento, al cabo de unas cuantas semanas, fue a devolvérselo directamente a Faraday con

cuatro trocitos de papel metidos entre sus páginas. Junr era miembro de la Real Institución, según descubrió un atónito Faraday, y admirado por el trabajo del joven, le devolvía el libro junto con unas entradas de regalo ¡para la próxima serie de conferencias públicas del famoso Humphry Davy!

VIDI

Mucho antes de que los cristianos llegaran a creer en el Padre, el Hijo y el Espíritu Santo, los filósofos de la naturaleza habían tropezado con su propia trinidad: electricidad, magnetismo y fuerza gravitatoria. Esas tres fuerzas por sí solas habían regido la creación del universo, según creían los filósofos, y seguirían modelando para siempre su futuro.

Su creencia se fundamentó sobre una roca, literalmente hablando, seiscientos años antes del cristianismo. En aquella época, el filósofo jonio Tales de Mileto había observado que la piedra imán atraía limaduras de hierro y que el ámbar, savia de árbol fosilizada, atraía briznas de paja si se lo frotaba con lana. Además de estas fuerzas misteriosas estaba el hecho evidente de que la tierra atraía objetos de *todo* tipo.

Dado el comportamiento dispar de esas fuerzas, no sorprende que desde muy antiguo los filósofos se rascaran pensativamente la cabeza: ¿Eran aquellas fuerzas completamente diferentes? ¿O, al igual que la Trinidad cristiana, tres aspectos diferentes de un mismo fenómeno?

Estuvieron tentados de creer en la unidad de las tres fuerzas sencillamente porque era lo más coherente con su noción de que, a pesar de su ostensible complejidad, la naturaleza era fundamentalmente simple. Sin embargo, y desgraciadamente para tan limpia premisa, todas las evidencias indicaban que las tres fuerzas eran tan dispares como parecía deducirse de su compartimiento externo.

Los filósofos antiguos veneraban la gravedad por encima de las otras dos fuerzas, porque solo ella parecía ser universal; estaba en todas partes y en todo momento. En último extremo, además, la influencia de la gravedad era irresistible: tenía la capacidad de hacer caer árboles poderosos y poderosos reyes.

En comparación, las fuerzas de la piedra imán y del ámbar no tenían ni mucho menos una presencia tan conspicua en la vida diaria de la gente; por el contrario, la piedra imán se extraía en unos pocos lugares de la Tierra y el ámbar era tan raro como el oro. Lo que es más, esas fuerzas parecían tener influencia solo sobre cosas concretas y solo en condiciones muy específicas. En resumidas cuentas, que comparadas con la gravedad no eran más que una novedad, meras curiosidades.

Por ello no es sorprendente que en su celebrada *magnum opus*, la *Física*, ni siquiera el muy inquisitivo Aristóteles hiciera mención de las dos extravagantes fuerzas de Tales. Sin embargo, sí llamó la atención sobre el misterio «del movimiento natural hacia abajo de la tierra» y al referirse más de una vez a la «gravedad» de los objetos sólidos (en contraste con la «levedad» de los objetos gaseosos) dio su nombre a la ubicua fuerza.

Durante los siglos siguientes, persistió el menosprecio: los ensoberbecidos filósofos que estudiaban la gravedad no se permitían distraerse con misterios de menor importancia como los de la piedra imán y el ámbar. Por así decir, en la sociedad de las ideas la gravedad se había convertido en una consentida aristócrata que se enseñoreaba sobre una pareja de don nadies sin nombre.

Hasta 1581, en que un médico inglés se interesó por sus posibles poderes curativos, no empezaron

a tomarse en serio las dos maltratadas fuerzas de Tales. El médico se llamaba William Gilbert y se pasó años frotando con lana, seda y piel todo lo que tenía a mano; sus colegas llegaron a preguntarse por su salud mental pero, al final, el buen doctor descubrió una cosa auténticamente asombrosa.

Gilbert había sido capaz de obtener la fuerza del ámbar de Tales frotando diamantes, azufre, cera fundida y muchas otras sustancias, y no solo ámbar. Más todavía: la fuerza atraía no solo partículas y paja sino «todos los metales, maderas, hojas, piedras, tierras y hasta agua y aceite y todo aquello que es sometido a nuestros sentidos o es sólido».

Y dado que la fuerza del ámbar parecía ser casi tan universal como la gravedad, Gilbert decidió que merecía un nombre propio. La bautizó como fuerza *eléctrica*, a partir de la palabra griega *electrón* que significa ámbar.

Igual de entusiasta se mostró Gilbert con la piedra imán. «La piedra imán supera a los demás cuerpos que nos son conocidos en virtudes y propiedades pertenecientes a la madre común [la tierra] —decía en su delirio—, pero esas propiedades han sido muy mal comprendidas o ponderadas por los filósofos».

En este caso, *no* fue Gilbert el primero en nominar el fenómeno: la fuerza de la piedra imán de Tales ya se había dado en llamar *magnetismo*, por la región asiática de Magnesia, de donde originariamente se habían extraído muchas piedras imán. Sin embargo, sí fue Gilbert el primero en descubrir que los dos extremos de un imán siempre se comportaban de manera distinta: los llamó *polo norte* y *polo sur*.

Según los experimentos de Gilbert, siempre que se juntaba una pareja de imanes, los polos similares *se repelían* mientras que los polos disímiles *se atraían*. Es decir, que dos imanes próximos siempre se giraban de manera que el polo sur de uno de ellos se alineaba con el polo norte del otro.

Gilbert se preguntó si comportamiento tan sorprendente podría ayudar a explicar por qué la aguja magnética de la brújula siempre apuntaba al norte. Hasta ese momento, los filósofos de la naturaleza habían conjeturado que las agujas de las brújulas se comportaban de esa forma sencillamente porque las atraía la estrella Polar o cierta montaña rebosante de piedra imán que estaba en el círculo polar ártico.

Después de reflexionar sobre ello, Gilbert presentó «a la consideración de los instruidos nuestra nueva doctrina hasta ahora desconocida». ¡La Tierra entera era un imán con sus dos polos!, proponía Gilbert. Aquello explicaba el comportamiento de la brújula: el polo sur magnético de su aguja se veía atraído naturalmente hacia el polo norte terrestre (y viceversa, el polo norte de la aguja se veía atraído hacia el polo sur de la Tierra).

Gilbert publicó estas observaciones y teorías revolucionarias relativas a las dos fuerzas de Tales en un libro titulado *De magnete, magnetisque corporibus, et de magno magnete tellure* (*Sobre el imán y los cuerpos magnéticos y sobre el gran imán de la tierra; una nueva fisiología demostrada mediante muchos argumentos y experimentos*). Fue un libro seminal, porque Gilbert fue el primero en utilizar lo que llegó a denominarse *método científico*, esa mezcla única y poderosa de especulación y experimentación.

Esta notable publicación decepcionó a los colegas de Gilbert, sin embargo, porque parecía barrer cualquier posibilidad que quedara de que la electricidad, el magnetismo y la gravedad estuvieran relacionados no se sabía cómo. Ya los filósofos sabían que la gravedad era diferente de las otras dos fuerzas; en ese momento, y según las revolucionarias observaciones de Gilbert, esas otras dos fuerzas eran completamente opuestas.

Mientras la electricidad era *simpatética* (estrictamente atractiva) el magnetismo era *polar* (atractivo y repulsivo), y mientras la electricidad era *católica* (atrayendo muchos tipos de cosas) el magnetismo era altamente *selectivo* (afectando solo al hierro y a otros imanes). Por ello, a principios del siglo XVII, las cosas no parecían muy claras para aquellos que seguían la creencia científica de que la simplicidad subyacía al mundo natural.

En 1663 les animó saber de un experimento realizado por un alemán llamado Otto von Guericke. Después de frotar un trozo de azufre con las manos, descubrió que atraía muchas cosas, lo mismo que Gilbert, ¡pero que también *repelía* otras!

Evidentemente y después de todo, la electricidad no era tan completamente diferente del magnetismo. Si había que creer a Von Guericke, ambas fuerzas eran capaces de ser atractivas y repulsivas, lo que hizo que los filósofos volvieran a preguntarse por la gravedad: ¿Sería posible que también su querida fuerza fuera capaz de *repeler* objetos?

Si la gravedad fuera capaz de apartar las cosas, entonces habría que esperar ver cosas flotando en el aire sin sujeción alguna. La posibilidad parecía desafiar la gravedad y la experiencia común y sin embargo, comentaban los filósofos con entusiasmo, nadie había probado jamás que no pudiera ocurrir.

Hasta 1687 la ciencia no puso nuevamente los pies en la tierra gracias al famoso filósofo inglés de la naturaleza Isaac Newton, al publicar su obra monumental en tres volúmenes *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de la filosofía natural). En ella, ofrecía pruebas abrumadoras de que la gravedad solo funcionaba en un sentido: siempre atraía a los objetos, nunca los repelía. (*Véase* «Manzanas y naranjas»).

Con este asunto aparentemente zanjado, la ciencia centró su atención en el experimento del azufre de Von Guericke y en el chocante parecido que entre el comportamiento de la electricidad y el magnetismo había revelado. Las dos fuerzas ¿eran similares en otros aspectos? Pronto empezaron a descubrir los filósofos de la naturaleza que la respuesta era un estentóreo sí.

Por ejemplo, en 1785, un francés llamado Charles-Augustin Coulomb suspendió unas pequeñas barras imantadas de unas cuerdas y observó cómo se influían mutuamente cuando se las separaba a distintas distancias. Descubrió que la fuerza entre ellas disminuía con el *cuadrado* de su separación: si la distancia entre los imanes se duplicaba, la fuerza disminuía cuatro veces ($2^2 = 4$); si la distancia se hacía tres veces mayor, la fuerza disminuía nueve veces ($3^2 = 9$), y así sucesivamente.

Esta revelación era especialmente notable porque Coulomb descubrió que si suspendía de las cuerdas objetos cargados *eléctricamente* ¡la fuerza eléctrica obedecía a la misma regla! Por ello, hacia finales del siglo XVIII, la ciencia comenzaba a sentirse optimista sobre la posibilidad de encontrar cierta pizca de unidad entre por lo menos dos de las tres fuerzas de la naturaleza.

Sin embargo, y al mismo tiempo, la ciencia seguía sin estar segura de cómo utilizar la electricidad y el magnetismo, estuvieran unificados o no. Mientras la teoría de la gravedad de Newton ya daba lugar a todo tipo de predicciones útiles (como la influencia gravitatoria de la Luna sobre las mareas, la existencia de nuevos planetas y el flujo de agua a lo largo de acueductos kilométricos) la electricidad y el magnetismo eran más un entretenimiento que una clarificación.

Por ejemplo, remontándonos a 1745, un físico holandés, Pieter van Musschenbroek, había inventado una botella especial (que recibió su nombre de la Universidad de Leyden) que era capaz de almacenar grandes cantidades de electricidad. El invento de la botella de Leyden, que fue el precedente de las pilas modernas, significó que los filósofos de la naturaleza no tenían que contentarse

con diminutas cantidades de electricidad estática obtenida mediante el frotamiento de materiales «eléctricos» como el ámbar.

Durante una de las primeras demostraciones de su reciente creación, Van Musschenbroek había sentido en su carne el terrorífico aguijón de la electricidad. Le ocurrió mientras cogía una botella de Leyden completamente cargada de electricidad estática: «Brazo y cuerpo se me quedaron afectados de una manera horrible que no puedo describir —escribió después—, en pocas palabras: creí que todo se había acabado para mí».

Al principio, el vistoso fenómeno arrancó diversas expresiones de admiración de los filósofos de la naturaleza pero terminó arrancando aquellas mismas expresiones a grandes audiencias de todo el mundo. Los filósofos de la naturaleza que intentaban satisfacer el creciente interés del público por la ciencia y la tecnología habían encontrado en las botellas de Leyden en particular (y en la electricidad y el magnetismo en general) elementos para complacer a las multitudes.

Nadie lo supo mejor que Luigi Galvani, que en la década de 1770 había iniciado una serie de experimentos electrificantes que pretendían ser científicamente serios. Reunido con sus ayudantes en torno a una rana recién abierta, lo que vieron les puso los pelos de punta: «Cuando alguna de las personas presentes tocaba accidental y levemente los nervios neurales internos de la rana con la punta del escalpelo, todos los músculos de la pata parecían contraerse repetidas veces como si estuvieran afectados de fuertes calambres».

Después de haber reflexionado un tanto sobre lo que acababa de ver, Galvani había llegado a la conclusión de que había encontrado la chispa de la vida, afirmación ocultista que originó su marginación de la comunidad científica. En ese momento, muchos años después, el desprestigiado Galvani se había convertido en una especie de charlatán de feria y la electricidad en una sórdida atracción de segunda categoría.

Durante sus sensacionalistas conferencias públicas, Galvani mostraba a la gente cómo se agitaban incontrolablemente docenas de ancas de rana cuando se las colgaba de un alambre de hierro, como se tiende la ropa en una cuerda. La ciencia ortodoxa se encogía ante sus teorías pero aquel espectáculo de ancas de rana flexionándose al tiempo como fila de coristas le garantizaba a Galvani auditorios abarrotados en todo el mundo.

Aquel italiano provocador se las arregló incluso para convencer a John Wesley, el inglés instruido que al fundar el metodismo a principios del siglo XVIII inspiró a su correligionario evangélico Robert Sandeman a crear su propia secta. Wesley había sabido del galvanismo (nombre dado a la teoría de la electricidad animal de Galvani) durante su época de estudiante en Oxford; luego, en 1784, decidió incluir en la nueva constitución de su religión disidente la convicción explícita de que «la electricidad es el alma del universo».

En 1800 aquella atracción de segunda categoría que era la electricidad adquirió un poder todavía mayor de atraer públicos más numerosos y más distinguidos. Fue provocado por otro flamante físico italiano, el cual había inventado en esta ocasión un dispositivo que podía producir un *flujo* constante de electricidad, un enorme avance sobre las fugaces chispas de Van Musschenbroek y las descargas momentáneas de Galvani.

Se llamaba Alessandro Volta y su invento consistía en unos discos de cobre y de cinc apilados a la manera de fichas de póquer y separados por discos de cartón empapado en agua salada. Se los llamaba «pilas» de Volta porque había que apilar de treinta a sesenta discos para poder producir un efecto medible: cuanto más alta era la pila, más fuerte era la corriente eléctrica.

De hecho, las pilas de Volta fueron las primeras baterías de almacenaje de carga a la manera moderna. Para determinar si una de ellas funcionaba solo hacía falta tocar los terminales con la punta de la lengua; la corriente eléctrica (demasiado débil para dañar a una persona) originaba invariablemente un cosquilleo, una sensación amarga. (El mismo efecto puede producirse tocando la lengua con una cuchara de plata y una lámina de hojalata conectada a ella).

El 20 de marzo de 1800, un entusiasta Volta escribía a Joseph Banks, presidente de la Real Sociedad de Londres, informándole de una versión de su pila en disposición horizontal: «Colocamos una fila de diversas copas… de agua pura, o mejor de salmuera o lejía. Las juntamos en una suerte de cadena por medio de arcos metálicos [que sirven de puente entre las copas adyacentes]».

Volta llamó a su dispositivo «corona de copas» y a Banks le impresionó tanto que enseñó la carta a su colega William Nicholson, ingeniero civil que trabajaba en Londres. Nicholson y su aristocrático colega Anthony Carlisle hicieron inmediatamente una réplica del nuevo dispositivo de Volta y en menos de un mes hicieron por sí mismos un descubrimiento imponente.

Cuando Nicholson y Carlisle cogían los dos terminales de alambre de su corona de copas y los metían en un depósito lleno de agua, el agua empezaba a burbujear. Al principio, se habían quedado desconcertados, pero luego habían llegado a la conclusión de que la corriente eléctrica descomponía el agua, no sabían cómo, en sus dos elementos básicos, el hidrógeno y el oxígeno; ambos eran gases, lo cual explicaba el burbujeo.

Nadie comprendía con exactitud cómo era capaz una corriente eléctrica de producir semejante efecto pero recordaba el comportamiento del rayo, que partía todo lo que encontraba a su paso. En todo caso, aquel misterioso fenómeno era innegablemente real y terminó por llamarse *electrólisis*, que en griego quiere decir «romper por medio de la electricidad».

Y así, de repente, la ciencia tuvo un motivo para tomarse en serio la electricidad: aquella fuerza que servía de entretenimiento tenía su utilidad, sobre todo para los químicos. Hacía bien poco que estos habían abrazado la nueva idea de que la materia consistía en unas pocas docenas de elementos esenciales; ahí tenían el medio perfecto de comprobar su idea y sacar a la luz aquellos supuestos átomos.

Inmediatamente, centenares de químicos de todas partes se pusieron a construir sus propias pilas de Volta o sus coronas de copas con la esperanza de ser los primeros en descubrir algún nuevo elemento atómico. De ellos destacó un químico, el más capacitado en la aplicación de la nueva tecnología a su profesión: Humphry Davy.

En 1807, cinco años después de haber accedido a la Real Institución de Londres, Davy había construido una de las pilas voltaicas más grandes y más potentes del mundo y la había utilizado para aislar dos elementos hasta entonces desconocidos: el sodio y el potasio. Un año después, utilizó su pila para descubrir cuatro elementos más: bario, boro, calcio y magnesio. Fue una hazaña tan notable que Napoleón, aun estando en guerra contra Inglaterra, premió a Davy con el prestigioso premio Bonaparte del Institut de France.

En lo sucesivo, la electricidad y el magnetismo se vieron destinados a dotar de nuevo significado a la emergente ciencia química. Y a la inversa, la química iba a dar nuevo crédito al estudio de la electricidad y el magnetismo y algo más: los extraordinarios talentos y ambiciones de un joven llamado Michael Faraday que en ese mismo momento se hacía mayor de edad en Londres.

Al igual que las dos antiguas fuerzas de Tales, el joven Faraday siempre había ocupado un lugar irritantemente humilde en la comunidad científica. Pero en ese momento, al cabo de tantos años, el

presunto científico estaba a punto de convertirse en el pasaporte que aquella presunta ciencia de la electricidad y el magnetismo necesitaban para llegar a ser una disciplina de primer orden.

VICI

El 29 de febrero de 1812, Faraday subió a saltos las escaleras de piedra y entró a toda prisa por las pesadas puertas de la Real Institución de Londres. Simbólicamente era como el asalto a la Bastilla, salvo por el detalle de que sería Faraday el que perdiera la cabeza y no ninguno de los nobles que habitaba en aquella institución.

Era la tarde que llevaba tanto tiempo esperando. Llevaba años fantaseando sobre aquel palacio de la ciencia. Y en ese momento, mientras se abría paso desgarbadamente por la opulenta antecámara hasta el auditorio, Faraday casi se desmaya ante la realidad.

Una vez sentado, el joven abrió su cuaderno de notas y comenzó a dibujar y a describir la elegante sala y el escenario lleno de objetos que tenía delante: «Literatos y científicos, prácticos y teóricos, "medias azules"[5] y mujeres de moda, viejos y jóvenes, atestaban, llenos de ansiedad, el salón de conferencias».

Estaba previsto que el acontecimiento comenzara a las ocho en punto y en ese preciso momento todos los ojos se volvieron para mirar al conferenciante, alto y apuesto, que subía a grandes trancos al estrado. Humphry Davy no era un rey, pero se presentaba como tal. Para muchos (y no solo para el joven encuadernador que le aplaudía fervorosamente desde su sitio en las butacas del centro) era uno de los más grandes filósofos de la naturaleza de la época.

Cuando se acalló el aplauso, Davy procedió a asombrar a la galería con su legendario talento y sus fantásticas demostraciones. Relumbraban los productos químicos, fluía la electricidad y en medio de todas aquellas demostraciones, el propio Faraday se enardecía mientras fluía la tinta de su pluma; cuando todo acabó, aquel ansioso joven había llenado noventa y seis páginas de notas e ilustraciones.

Para los asistentes, fue el final de una velada memorable, acrecentada por los rumores de que iba a ser la última tanda de conferencias de Davy. Sin embargo, para el joven Faraday de veinte años iba a ser el principio de una revolucionaria carrera científica, que terminaría por destronar el señorío jactancioso de la Real Institución.

Mientras el extasiado Faraday caminaba hacia su casa, su ánimo exaltado fue viéndose dominado gradualmente por la oscuridad reinante. Solo le quedaban ocho meses de aprendiz, pensaba taciturno, momento en el que se había comprometido a trabajar de oficial para el encuadernador francés Henri de la Roche. El sueldo sería suficiente para mantenerle a él y a su madre viuda, pero el trabajo en sí no le hacía feliz.

Esa tarde Faraday había tocado su sueño con los dedos, nunca lo había tenido tan cerca: en ese momento, quería cogerlo, no deseaba tanto ninguna otra cosa de este mundo. Pero ¿cómo podía alguien tan insignificante como él llamar la atención de Davy?

Durante los meses siguientes, mientras aquel joven cada vez más ansioso asistía a las tres conferencias restantes, se le ocurrió una idea. Volvería a copiar sus apuntes de las conferencias y los encuadernaría en un libro tan exquisito que Davy no podría por menos de fijarse en él… y en su autor. Su cuaderno de apuntes de Tatum le había metido en la Real Institución, razonó Faraday; puede que aquel otro le consiguiera un empleo allí.

Sin embargo, no había terminado de felicitarse por haber ideado un plan tan brillante, cuando se hizo pública una noticia: los días anteriores Humphry Davy había sido nombrado caballero por la reina y se había desposado con una viuda rica. La pareja estaba de viaje de novios en Escocia hasta finales de año.

Faraday se puso fuera de sí de cólera y de frustración. No podía esperar tanto porque ¡hacia finales de año ya estaría sellado su destino como encuadernador! Desesperado, Faraday escribió a Joseph Banks, presidente de la Real Sociedad; el joven le imploraba ayuda, pero ni siquiera recibió respuesta.

El 7 de octubre terminó el aprendizaje de Faraday, junto con sus esperanzas de un futuro mejor. Al día siguiente, se presentó en su nuevo trabajo e inmediatamente le disgustó su nuevo patrón. Henri de la Roche tenía un carácter agrio y, lo que era peor, dejó claro que *no* iba a permitir los sueños científicos de Faraday como había hecho Riebau durante tantos años.

Con la llegada del invierno, el preciado recuerdo de Faraday sobre la serie de conferencias primaverales de Davy empezó a flaquear y a marchitarse como las hojas de los árboles que le rodeaban. «Trabajo en mi viejo oficio, el cual deseo dejar a la primera oportunidad conveniente —escribió despectivamente a un viejo amigo— porque desde luego, como no corte con mi situación actual deberé abandonar la filosofía para aquellos que sean más afortunados en tiempo y medios».

En diciembre, sabiendo que Humphry Davy y su esposa habían regresado a Londres, un Faraday absolutamente infeliz decidió seguir su plan inicial: «Mi deseo de escapar del oficio… y entrar al servicio de la Ciencia… me indujeron finalmente a dar aquel atrevido y sencillo paso de escribir al señor H. Davy —recordaría después—, y al tiempo enviarle apuntes tomados de sus conferencias».

En los días siguientes, el joven aguardó una respuesta pero no llegó. Luego, el 24 de diciembre, un lacayo elegantemente vestido apareció en el 18 de Weymouth Street. Llamó a la puerta del ruinoso piso de los Faraday y extendió a Michael esta nota del mismísimo rector de la Real Institución:

> Estoy lejos de ver con desagrado la muestra de confianza que me da usted y que demuestra gran celo, poder de retentiva y atención. Me veo obligado a ausentarme de la ciudad y no volveré hasta finales de enero. Le veré entonces cuando usted lo desee. Me sería sumamente grato serle de utilidad; solo deseo que esté dentro de mis posibilidades.

Faraday se sintió tan atontado como los niños que en esas fechas esperaban ansiosamente la llegada de Papá Noel. Había esperado toda una vida para obtener esta oportunidad y ahora tenía que esperar solamente un mes más; sin embargo, ese mes pareció durar una eternidad.

Cuando llegó finalmente el gran día, su encuentro con Davy pasó tan velozmente que luego Faraday se preguntaría si no habría sido un sueño. Recordaba haberse sentido a punto de desmayarse cuando le dio la mano a Davy y luego esperanzado cuando el noble científico había escuchado su ruego de un empleo, para sentirse finalmente desolado cuando Davy le explicó que no tenía ningún trabajo que ofrecerle y que Faraday haría bien en conservar su puesto actual de oficial de encuadernador.

Conforme bajaba las escaleras de la Real Institución, el joven tenía por seguro que nunca volvería a atravesar aquellas puertas de nuevo. Tantos esfuerzos, tantos grandes planes, tanta anticipación: todo se había convertido en nada.

Durante meses había ido creándose una fuerte rivalidad entre el ayudante de Davy y otro empleado

de la institución. Los dos se las habían arreglado para seguir manteniendo las buenas maneras, pero a las pocas semanas de la visita de Faraday su enemistad latente estalló repentinamente en un intercambio de golpes.

El 1 de marzo por la mañana, mientras Faraday se preparaba para el trabajo, llamaron a la puerta. Era otra vez el lacayo, con el mensaje de que el ayudante de Davy había sido despedido por una pelea.

Davy le ofrecía, si seguía interesado, que Faraday se quedara con el trabajo y con un piso pequeño, de dos habitaciones, encima del laboratorio. ¿Seguía interesado? Sin esperar a releer el mensaje, Faraday empezó a hacer su equipaje y al poco salía apresuradamente para informar a su patrono.

Para sorpresa de Faraday, Henri de la Roche le había cogido simpatía. «No tengo hijos —le dijo entonces aquel francés malhumorado— y si te quedas conmigo te daré todo lo que tengo cuando desaparezca». Sin embargo, Faraday mostraba tanto fanatismo en convertirse en filósofo de la naturaleza como en ser buen sandemaniano: nada, ni nadie, le haría cambiar de parecer.

Al cabo de pocos minutos, Faraday entraba de un salto en la Real Institución, sin creerse todavía que aquella iba a ser su casa además de su lugar de trabajo. Se sentía como una rana convertida en príncipe y no mostró el más mínimo desconcierto mientras Davy le explicaba que ser un mozo de laboratorio no consistía más que en lavar tubos de ensayo y barrer el suelo.

«Me aconsejó, con todo, que no abandonara las perspectivas que tenía ante mí, diciéndome que la Ciencia era una dama esquiva… y que compensaba mal a los que se dedicaban a su servicio —recordaría Faraday después—. Sonrió ante mi idea de los sentimientos morales superiores de los filósofos y me dijo que la experiencia de unos cuantos años me haría ver la verdad de aquel asunto».

Por el contrario, y durante los años siguientes, el joven mozo de laboratorio gozó al servicio de la ciencia. Entre otras cosas, aprendió a extraer azúcar de la remolacha, a mejorar las propiedades químicas del acero y a utilizar la electrólisis para descomponer buen número de compuestos.

Fue como si se hubiera convertido nuevamente en aprendiz, con la diferencia de que aquella vez el objeto de su trabajo era el gran libro de la naturaleza: cómo estaba cosido y encuadernado, y cómo podía comprenderse mediante la ciencia y mejorarse mediante la tecnología.

A lo largo de aquel proceso, Faraday aprendió a sobrevivir a los peligros físicos que se producían al trabajar en un laboratorio químico. «He escapado (no sin daños) a cuatro fuertes explosiones diferentes», informaba a un amigo.

De ellas, la más horrorosa fue cuando tenía entre el pulgar y el índice un tubito que contenía 7 1/2 gramos de tricloruro de nitrógeno. La explosión fue tan rápida que me abrió la mano, me arrancó parte de una uña y me ha dejado los dedos tan entumecidos que todavía no puedo usarlos sin dificultad.

Durante su primer viaje al extranjero (que empezó en octubre de 1814) Faraday aprendió también a sobrevivir a los insultos inherentes al hecho de ser un encuadernador de la clase trabajadora que buscaba ser aceptado en el socialmente elevado mundo de la ciencia. En cierto modo, aquellos picotazos eran más duros de soportar que las explosiones químicas.

El problema no se planteaba con los científicos extranjeros: todos quedaban encantados con aquel joven sin pretensiones que tan imbuido estaba de todo lo científico. Los culpables eran la esposa de Davy… y, hasta cierto punto, el propio Davy.

En un principio, Davy había invitado a Faraday a unírsele en la investigación y en el viaje de conferencias como *ayudante de laboratorio*. Sin embargo, y debido a las guerras napoleónicas que había en marcha y que hacían muy peligroso el viaje por Europa, el quejumbroso ayuda de cámara de Davy se había despedido en el último minuto.

Con reticencia, Faraday se había mostrado de acuerdo en desdoblarse también como servidor de Davy… pero solo hasta París, su primera escala, donde el químico aristócrata había prometido encontrar a alguien que hiciera aquel trabajo. Lo cierto es que Davy nunca encontró a nadie que satisficiera sus afectadas exigencias, de modo que durante todo el viaje pidió a Faraday que fuera su servidor al tiempo que su ayudante de laboratorio.

Esa era la herida; el insulto venía de parte de la esposa de Davy. «Le gusta [a la esposa de Davy] mostrar su autoridad —se quejaba Faraday en una carta a un amigo—, y es extremadamente aplicada en mortificarme». Ella se daba cuenta de lo bien que Faraday ayudaba a su marido en sus investigaciones y sin embargo insistía en presentar al joven a todo el mundo como su *sirviente* y tratarle de modo correspondiente a tal posición.

Sin embargo, aquel viaje humillante no fue del todo un desastre para Faraday. Debido a la talla mundial de su mentor, pudo conocer a algunos de los mejores científicos de Europa, entre ellos Alessandro Volta, que se había convertido en una celebridad desde su invención de la pila, y André-Marie Ampère, un prodigio parisino de mediana edad que dejaba boquiabierto al mundo con sus fenomenales habilidades matemáticas; y lo que es más, pudo trabajar con ellos.

Aquellos eran los científicos de los que Faraday llevaba leyendo años como aprendiz en la tienda de Riebau. Eran los científicos cuyo trabajo había intentado repetir en su laboratorio improvisado, utilizando aparatos toscos y baratos. Y ahora, para maravilla suya, podía hablar con ellos e inspeccionar con sus propios ojos los elegantes y caros equipos que habían utilizado para investigar la electricidad, el magnetismo y demás fenómenos naturales.

«He aprendido suficiente como para darme cuenta de mi ignorancia y, avergonzado de mis defectos en todo, deseo aprovechar la oportunidad de remediarlos —escribió Faraday en una carta con el viaje mediado—; la gloriosa oportunidad de mejorar en el conocimiento de la química y de las ciencias me obliga continuamente a terminar este viaje con el señor Humphry Davy».

Cuando regresó a Londres, en la primavera de 1815, Faraday había acumulado lo que aparentaba ser una formación de clase alta: después de terminar la escuela pública y unos pocos años en Oxford o Cambridge, los jóvenes aristócratas británicos de la época solían recorrer el continente, acompañados de sus tutores. Por ello, aunque socialmente Faraday seguía perteneciendo a las clases inferiores, profesionalmente estaba ya situado para ganarse un lugar respetable en la comunidad científica.

A los pocos días de su regreso, un Davy agradecido y algo sumiso recompensó a Faraday con un doble ascenso a superintendente de aparatos, además de ayudante del laboratorio y de la colección de minerales. El viejo químico había animado también a Faraday a que empezara a experimentar por su cuenta, cosa que hizo comenzando con una muestra de roca que había recogido en Italia.

En 1816 Faraday publicó sus resultados («Análisis de la caliza cáustica natural de Toscana») en el *Quarterly Journal of Science*. Era su primera publicación científica y en cierta manera una declaración de independencia: oficialmente desde ese momento, dejaba de ser el insignificante protegido de Davy.

En años subsiguientes, la aparición de Faraday como científico muy dotado convulsionó a la Real Institución como una ampolla de tricloruro de nitrógeno. Ahora que tenía acceso a equipo propio, se descubrió como un mago técnico: algunos incluso empezaron a decir que era el aparente heredero de Davy.

Faraday dispuso experimentos de la misma manera que había encuadernado libros en otro tiempo, con paciencia y precisión extraordinarias. Además, tenía un ojo tan agudo para los detalles que los científicos tendían a aceptar su palabra sobre la existencia de tal o cual efecto sutil incluso si no lo

habían comprobado todavía con sus propios equipos.

Sin embargo, Faraday era incapaz de devolver el cumplido porque no había perdido nada de aquel escepticismo que había evidenciado de joven. Una y otra vez se negaba a creer en la existencia de determinado fenómeno hasta que no lo había visto por sí mismo, explicando: «El filósofo debería ser un hombre que atendiera a todas las sugerencias pero decidido a juzgar por sí mismo… no debería respetar a las personas sino a las cosas. La verdad debería ser su primer objetivo».

Al mismo tiempo, su religión y su condición social en la vida hacían de él un hombre humilde. Por ello, al expresar su encomiado escepticismo a un colega, tenía cuidado de no alardear demasiado de sus propias capacidades o ideas: «Al adherirse a una teoría preferida, se han introducido en la ciencia muchos errores que luego han exigido no poco esfuerzo para su eliminación… Guardarse de ello exige una buena proporción de humildad mental, preparación e independencia».

Practicando lo que predicaba, el joven filósofo intelectualmente irreverente y religiosamente humilde se ganó tal posición respetada en la Real Institución que no se preocupó de tener que volver a ejercer de encuadernador. Ahora, pensaba animosamente, arremangándose, se concentraría en otro de sus sueños de infancia: el de ser el primero en desmitificar el desconcertante fenómeno de la electricidad; sin embargo y desgraciadamente para Faraday, había otras personas en el mundo que habían crecido con el mismo sueño y estaban muy cerca de convertirlo en realidad.

El que parecía estar más cerca era un físico danés llamado Hans Orsted. En 1820 descubrió que una corriente eléctrica hacía que la aguja de la brújula se moviera levemente, como si la propia corriente se comportara como un imán.

En Francia, a los pocos meses, aquella noticia llamativa fue confirmada de un modo ligeramente diferente por Ampère y otro colega, Dominique François Jean Arago. Descubrieron que una corriente eléctrica en forma de sacacorchos también se comportaba como un imán, atrayendo limaduras de hierro; por tal motivo llamaron a su descubrimiento *electroimán*.

A lo largo de los dos siglos anteriores, los filósofos de la naturaleza habían descubierto diversas similitudes entre la electricidad y el magnetismo. El francés Charles-Augustin Coulomb comprobó que ambas fuerzas *se parecían*; se debilitaban con la distancia exactamente de la misma manera. Y el alemán Otto von Guericke halló que ambas fuerzas tenían *dos caras*; eran capaces de repeler unos objetos y atraer otros.

Así que, reflexionaba Faraday incrédulo, Orsted, Ampère y Arago habían revelado algo más, algo más profundo sobre las dos fuerzas. Su asombroso descubrimiento posibilitaba que la electricidad y el magnetismo fueran intercambiables no se sabía cómo.

Sin embargo, si la electricidad se podía comportar como un imán quedaba por ver si la inversa era cierta también: ¿Podía el magnetismo comportarse como la electricidad? O dicho de otro modo: ¿Sería capaz de producir electricidad un imán? Repentinamente, encontrar respuesta a aquella pregunta se convirtió en el Santo Grial de la ciencia decimonónica.

Sin embargo, y cuando Faraday estaba listo para unirse a la búsqueda de la sagrada verdad del magnetismo y la electricidad, se vio desviado por una joven llamada Sarah Barnard. Faraday había conocido en la iglesia a aquella joven de veintitrés años, hija de un sandemaniano ya antiguo, y aunque se gustaban mucho, él había herido sus sentimientos escribiendo un poema en el que culpaba al amor de distraer a los hombres de sus tareas.

Irónicamente y para recuperar su afecto, Faraday se vio obligado a abandonar todo lo que estaba haciendo. Fue difícil pero el resultado de aplicar a la crisis la misma persistencia que había

demostrado en la investigación científica, terminó por tener éxito: el 12 de junio de 1821 el hijo del herrero se casaba con la hija del platero.

En lugar de un viaje de novios (ya le había distraído demasiado el amor), Faraday expuso su deseo de pasar el tiempo escribiendo un artículo sobre la historia de la electricidad y el magnetismo. Su paciente esposa Sarah le dio su consentimiento.

Durante los meses siguientes, el recién casado filósofo de la naturaleza perseveró con intensidad inimitable. Leyó todo lo que pudo conseguir de la propia biblioteca de la Real Institución y de sus amigos en el extranjero. Además, y a la manera antigua, Faraday rehízo todos y cada uno de los experimentos descritos en la literatura de modo que pudiera verificar los resultados por sí mismo.

Hacia finales de agosto, después de haber estudiado detenidamente miles de hechos y de haber hecho por sí mismo centenares de experimentos, Faraday no lograba quitarse de la cabeza una minucia relativa a uno de los experimentos de Orsted. Otros habían caído en ella pero era algo tan sutil y tan aparentemente sin consecuencias que solo la misteriosa mente de Faraday para los detalles podía verse absorbida por ella.

De hecho, y en los años siguientes, Faraday se referiría muchas veces a ese momento como una lección sobre la importancia de estar atento a los detalles: «La ciencia nos enseña a no pasar nada por alto, a no despreciar los comienzos pequeños… porque lo pequeño suele contener lo grande en sí, como lo grande contiene lo pequeño».

Faraday se había dado cuenta de que el magnetismo que producía una corriente eléctrica siempre desviaba una aguja de brújula de la misma manera: imaginemos la brújula colocada sobre una mesa y la corriente que fluyera desde el suelo hasta el techo: la aguja siempre se movía ligeramente *en sentido contrario a las agujas del reloj*, nunca en el sentido de las agujas. Faraday no estaba seguro de qué significaba eso pero después de someter su artículo sobre la historia de la electricidad y el magnetismo a los *Annals of Philosophy* se dispuso a averiguarlo.

Concentrándose, se le fue haciendo clara una imagen mental que explicaba el experimento original de Orsted. Al igual que una corriente de aire caliente a veces se convertía en un torbellino, conjeturaba Faraday, una corriente de electricidad ascendente bien podía producir vientos espirales de magnetismo ocasionando una pequeña rotación de una brújula cercana.

Era más que una conjetura y menos que una teoría, cosa de la que Faraday se daba cuenta, pero había un modo de comprobarlo: si una corriente eléctrica producía un torbellino magnético, entonces sus vientos giratorios serían capaces de hacer girar *continuamente* cualquier objeto magnético y no simplemente un poco como ocurría con la brújula de Orsted. La cuestión estribaba en cómo conseguirlo.

Después de trastear con su equipo día y noche a lo largo de varias semanas, la respuesta le llegó a Faraday a principios de septiembre. En primer lugar, cogió una barrita imantada y la lastró en uno de sus polos. De ese modo, colocada en un recipiente de mercurio la barrita imantada flotaba verticalmente, como si se tratara de una boya diminuta.

Luego, puso un cable vertical en el centro del recipiente e hizo pasar por él una corriente eléctrica de abajo arriba. El resultado fue que ocurrió una cosa notabilísima: la boya imantada comenzó a rotar en torno al alambre como si la arrastrara una corriente invisible… una corriente invisible *en sentido contrario a las agujas del reloj*.

Con este único experimento, Faraday había descargado un magnífico puñetazo doble. Había confirmado la teoría del torbellino magnético y, al tiempo, había creado el primer motor eléctrico del

mundo.

En los años siguientes, los ingenieros refinarían la tosca invención de Faraday creando motores eléctricos que terminarían por sobrepasar a las máquinas movidas por vapor que en ese momento tiraban de la Revolución industrial. Pero al cabo de un siglo, cuando hubiera motores eléctricos de todas las formas y tamaños, todos ellos se verían impelidos a rotar gracias al campo magnético de fuerzas a modo de torbellino reconocido por vez primera por aquel niño prodigio de la clase obrera inglesa.

En octubre de 1821, el *Quarterly Journal of Science* publicaba el descubrimiento de Faraday en un artículo con el modesto título de «Sobre nuevos movimientos electromagnéticos». El informe fue traducido a una docena de idiomas y pronto los científicos de todo el mundo fabricaban febrilmente sus réplicas del descubrimiento fabuloso de Michael Faraday.

La fama de Faraday se extendió lo mismo que la altura de las pilas voltaicas: para poder obtener la electricidad necesaria para mover motores eléctricos con una potencia que fuera significativa, los científicos se vieron obligados a construir unas poco manejables baterías tan grandes y altas que ocupaban habitaciones enteras. Hasta que alguien pudiera inventar una fuente más eficiente de electricidad parecía claro que las máquinas movidas por vapor seguirían dando sopas con onda a las nuevas máquinas de Faraday.

Aunque el Faraday de treinta años seguía ganándose la vida con tan solo el sueldo de un ayudante de laboratorio, en ese momento gozaba ya del respeto y la admiración sin límites de sus colegas de la Real Institución… salvo de uno: a saber, Humphry Davy. En los últimos años aquel químico de mediana edad había observado la meteórica carrera científica de Faraday con una curiosa mezcla de orgullo y celos: ya no se podía contener más.

El enfrentamiento entre los reyes pasado y futuro de la química comenzó unos días después de la publicación del artículo de Faraday en el *Journal*. El joven comenzó a oír rumores que le acusaban de haber plagiado la idea del motor eléctrico de William Hyde Wollaston, uno de los administradores de la Real Institución.

Deseando arrancar de raíz la acusación, un agitado Faraday escribió sin falta a Wollaston:

> Soy suficientemente atrevido, señor, para rogarle el favor de unos pocos minutos de conversación con usted acerca de este asunto, no por otras razones que las de que pueda dejar clara mi postura, de que le estoy reconocido, de que le respeto, de que estoy ansioso de hurtarme a infundadas impresiones sobre mí y de que si he hecho algo mal pueda disculparme por ello.

Dos días después, los dos hombres se encontraban cara a cara. Sí, confirmó Wollaston, había estado experimentando con un equipo parecido al de Faraday y, al igual que el joven filósofo, había llegado a la idea de la naturaleza giratoria del campo de fuerza magnético de la corriente eléctrica. Sin embargo, Wollaston aseguró a Faraday que no había iniciado él aquel rumor calumnioso ni tampoco lo aprobaba.

Durante las semanas que siguieron, el declarado apoyo de Wollaston a Faraday acalló los rumores. Pero era el silencio de Humphry Davy el que más preocupaba al joven. Ahora que ya había pasado la crisis, Faraday se quedó con la duda de por qué su antiguo benefactor nunca había salido en su

defensa.

Dos años después Faraday obtuvo la respuesta. Acababa de descubrir cómo licuar el cloro y dejó que Davy leyera su artículo antes de presentarlo para su publicación. Era el protocolo adecuado habida cuenta de que Davy era el patrono de Faraday en la Real Institución y en ese momento presidente de la prestigiosísima Real Sociedad.

Después de haber trabajado la mayor parte de dos décadas para licuar el cloro, aquel Davy de cuarenta y cinco años estaba especialmente deseoso de que el mundo reconociera su papel como mentor de Faraday en aquel especialísimo logro. Pero fue demasiado lejos. Cuando terminó de corregirlo, Davy aparecía como si hubiera sido *él* quien diera a su joven protegido la idea que había dado pie al descubrimiento.

Lo cual puso a Faraday en una difícil posición porque, se quejara o no, estaba en peligro de sufrir otro escándalo parecido al de Wollaston. Por ello, esa vez el joven eligió ceder con humildad. «Aunque puede que lamentara perder mi tema —explicaba Faraday más adelante—, le debía demasiado por su mucha amabilidad anterior como para pensar en decir que era mío lo que él decía ser suyo».

Dos meses después, Faraday fue propuesto como candidato a miembro de la Real Sociedad, el monte Olimpo de la ciencia inglesa. Era una medida de la estimación que sus colegas sentían por él; iba a ser también el último y drástico paso final de la rápida ascensión de Faraday al trono que Davy había ostentado durante más de dos décadas.

Davy no solo *no* apoyó el nombramiento de Faraday, sino que hizo activa campaña en contra. A la hora del almuerzo, aquel caballero con poco menos que una armadura brillante circulaba entre sus colegas de la Real Sociedad recordándoles el asunto Wollaston y animándoles a no votar al joven usurpador.

En un determinado momento, Davy llegó a exigir a Faraday que voluntariamente se retirara. «Repliqué que no había sido yo el que había hecho la propuesta —recordaría más tarde Faraday—, de manera que no podía retirarla».

En tal caso, le advirtió Davy, él mismo como presidente de la Real Sociedad anularía la propuesta. Según Faraday: «Le repliqué que estaba seguro de que el señor Humphry Davy haría lo que creyera mejor para el bien de la Real Sociedad».

El 1 de julio, en un intento de salvar la propuesta, así como su honor y su reputación, Faraday publicó una relación detallada de los acontecimientos que rodearon su descubrimiento del motor eléctrico. Una vez más el propio Wollaston corroboró la protesta de Faraday y una vez más Humphry Davy calló.

Sin embargo aquella vez Faraday quedó encantado del silencio de Davy porque quería decir que no interferiría en el proceso de elección como había amenazado hacer. En consecuencia, el 8 de julio de 1824, los miembros de la Real Sociedad votaron en secreto y el resultado fue casi unánime: hubo muchas bolas blancas a favor del nombramiento de Faraday ese día… y solo una bola negra en contra.

Sin un deseo consciente de hacerlo, aquel joven guerrero reticente había vencido al rey de la ciencia inglesa. Faraday seguía venerando el talento de Davy como químico (y lo seguiría haciendo durante toda su vida) pero como colega desaprobaba en privado las trapacerías de Davy. «Mi mayor ventaja —diría después Faraday con tono satírico— es que tuve un modelo que me enseñó qué debía evitar».

Al año siguiente, 1825, el miembro más reciente de la Real Sociedad fue ascendido a director de la

Real Institución. Para Faraday era el logro máximo de su carrera. Doce años antes había llegado a aquel imponente castillo de la ciencia como humilde sirviente; ahora, se había convertido en su potentado más reciente.

En el laboratorio, Faraday, sin dejarse afectar, trabajaba incluso con más ahínco que nunca para encontrar la respuesta a una pregunta que le había intrigado desde su descubrimiento del motor eléctrico. Si la electricidad era capaz de producir magnetismo ¿por qué no habría de ser cierta la inversa… por qué el magnetismo no habría de producir electricidad?

Muchos científicos se habían preguntado lo mismo pero habían fracasado en obtener una respuesta. Ni siquiera Orsted había tenido éxito ni aun trabajando día y noche para encontrar el complemento lógico de su descubrimiento originario.

El 29 de agosto de 1831, Faraday descubrió un filón. Comenzó por enrollar un trozo largo de alambre en torno a una media rosquilla de hierro, haciendo luego lo mismo en torno a la otra media rosquilla, colocada justamente enfrente. Si los alambres hubieran sido vendajes habría parecido como si hubieran vendado los brazos redondos de la rosquilla en posiciones enfrentadas.

Como era habitual, el proyecto de Faraday era muy directo: mandaría una corriente eléctrica a través del primer vendaje de alambre produciendo un viento magnético que formaría torbellinos a través de toda la rosquilla. Si esa tormenta magnética producía una corriente eléctrica en el otro vendaje de alambre, entonces Faraday habría descubierto lo que todos buscaban: el magnetismo crearía electricidad.

Faraday anticipaba que si aquello ocurría, entonces probablemente la corriente eléctrica así producida sería muy pequeña: de lo contrario, casi con seguridad otros ya la habrían detectado hacía mucho tiempo. En consecuencia, Faraday colocó en el segundo arrollamiento de alambre un medidor que detectaría hasta el paso más insignificante de corriente eléctrica; con eso estaba listo para lo que pudiera ocurrir, o para que no ocurriera nada.

Mientras Faraday electrificaba el primer arrollamiento de alambre conectándolo a una pila voltaica miraba esperanzado el medidor de corriente eléctrica. ¡La aguja se movía! «Oscilaba —garabateó Faraday histéricamente en su cuaderno de laboratorio—, y se colocó finalmente en su posición inicial».

Durante un rato, Faraday miró estupefacto la aguja. ¿Volvería a moverse? A los pocos minutos de esperar en vano, renunció. Sin embargo, al desconectar la batería Faraday se quedó atónito al ver que volvía a haber «una perturbación en la aguja».

El resto de la noche se lo pasó Faraday conectando y desconectando la rosquilla de hierro; cada vez que lo hacía, la aguja de su medidor de corriente eléctrica se agitaba espasmódicamente. Finalmente, se le ocurrió una idea y en aquel momento volvió a ser como aquel joven que había saltado de alegría una víspera de Navidad de hacía veinte años.

La corriente eléctrica que pasaba por el primer arrollamiento de alambre producía un torbellino magnético; ese torbellino, a su vez originaba una segunda corriente eléctrica que fluía por el otro arropamiento de alambre, pero solo cuando la intensidad del torbellino *aumentaba* o *disminuía*. Aquello explicaba el comportamiento espasmódico de la aguja: siempre que Faraday conectaba o desconectaba la pila, el torbellino magnético se iniciaba o se interrumpía súbitamente, produciendo aquel efecto. Entre esos dos momentos, y siempre que los torbellinos magnéticos atravesaran establemente la rosquilla de hierro, no ocurría nada.

Era como si se tratara de una persona que hubiera vivido toda su vida cerca de un faro; solo se

apercibiría del sonido de la sirena de niebla si un día dejaba de sonar; o si habiendo estado desconectada durante un largo período de tiempo volvía a sonar de nuevo. Sin embargo siempre que la sirena se mantuviera sonando sin cambio alguno, aquella persona no reaccionaría.

Los meses siguientes Faraday revisó y refinó su aparato y cada vez volvió a reafirmar su descubrimiento originario. Finalmente, en 1831, aquella persona prodigiosa de cuarenta años y perteneciente a la Real Institución, fue capaz de sintetizar su histórico descubrimiento en una única frase:

Siempre que una fuerza magnética aumenta o disminuye, produce electricidad; a mayor rapidez de aumento o de disminución, mayor cantidad de electricidad produce.

Aunque sus colegas no pudieron descubrir nada erróneo en su trascendental descubrimiento, les divirtió bastante que Faraday decidiera expresarlo en inglés. Desde que Newton había inventado el cálculo en el siglo XVII, las *matemáticas* se habían convertido en la lengua elegida por la ciencia. (*Véanse* «Manzanas y naranjas» y «Entre una roca y una dura vida»).

Incluso escribiéndolo sin errores, cualquier idioma corriente (inglés, latín, griego) solía malentenderse un 20 por ciento de las veces. Por contra, las matemáticas parecían ser la única forma de comunicación con la que los filósofos de la naturaleza podían esperar describir el mundo con perfecta claridad.

Por ello, en 1831, Faraday era un anacronismo, una de las pocas excepciones notables a esa popular manera de ver las cosas. No solo *no* se había formado matemáticamente (lo cierto es que era bastante analfabeto en ese sentido) sino que además creía que sus colegas se veían desencaminados por su estúpida creencia en las ficciones de la imaginación matemática; lo único que importaba eran los hechos de los experimentos bien realizados y claramente afirmados en un inglés simple y llano.

Durante el resto de su vida, Faraday se mantuvo firme en su deseo de expresar su descubrimiento de un modo que pudiera entender la gente normal, siguiendo fielmente el versículo bíblico que dieciséis años antes le había inspirado en primer lugar para clarificar el misterio de la electricidad y el magnetismo: «Porque lo invisible de Dios, desde la creación del mundo, se deja ver a la inteligencia a través de sus obras: su poder eterno y su divinidad, de forma que son inexcusables».

Tres largas décadas pasarían hasta que la originalidad del sandemaniano se viera superada por las convenciones modernas. En 1865 un joven físico escocés, James Clerk Maxwell publicaría su gran obra *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* (Teoría dinámica del campo electromagnético) en la que traduciría a una ecuación matemática el descubrimiento tan sencillamente afirmado por Faraday.

Maxwell utilizó $\boldsymbol{B}$ para representar el magnetismo y $\boldsymbol{E}$ para indicar la electricidad. Asimismo utilizó $-\partial/\partial t$ para representar la frase «la tasa de aumento o de disminución de…» y **rot** para representar «el aumento de…». Así las cosas, el descubrimiento de Faraday se convertía en esta ecuación:

$$\mathbf{rot}\, \boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$$

Es decir, el aumento de electricidad producido por el magnetismo era igual a la tasa de incremento o disminución de la fuerza originaria. Se producía mucha electricidad cambiando rápidamente la fuerza magnética mientras que apenas se producía una minucia si el cambio de la fuerza magnética era

muy lento. Y no se producía nada de electricidad mediante una fuerza magnética que permaneciera constante a lo largo del tiempo.

Aun habiéndose expresado en lo que la ciencia consideraba un lenguaje poco elegante, Faraday había visto el mundo con ojos de poeta, es decir, donde había complejidad él había visto simplicidad. Junto con Orsted, había demostrado que la electricidad podía dar magnetismo y que el magnetismo podía dar electricidad, una relación genética tan incestuosa y de círculo vicioso como no había otra en la naturaleza.

Aunque la electricidad y el magnetismo podían afirmarse de manera individual, lo cierto es que estaban inextricablemente unidos; cuando la una estaba presente, el otro también. Motivo por el cual, la ciencia terminó por llamar a estas fuerzas extrañamente relacionadas con un único término híbrido: *electromagnetismo*.

Con esa nueva forma de ver la electricidad y el magnetismo, Faraday y sus sucesores habían hecho realidad finalmente una parte de aquel antiguo sueño de la ciencia de unificar las fuerzas de la naturaleza. Sin embargo, se trataba de una victoria pequeña en comparación con el fracaso general de consolidar las tres fuerzas: después de todo, la trinidad de la ciencia no era tan sublime como la del cristianismo.

Y como se vio después, no era tampoco tan sagrada. Durante el siglo XX los científicos descubrirían nuevas fuerzas, además de las tres originarias, complicando mucho más su visión del mundo creado y su posible futuro. Lo cierto es que, mirando retrospectivamente, el mundo ya no volvería a ser tan sencillo como lo fuera en la época de Faraday, cuando por primera vez ayudó a revelar al mundo la íntima conexión existente entre la electricidad y el magnetismo.

Y además, y a causa de la ecuación de Faraday, las *vidas* de las personas ya no volverían a ser tan sencillas. El hijo de un obrero había discernido y escrito un gran secreto del mundo natural, un secreto que pondría término a la Revolución industrial y daría comienzo a la era de la electricidad.

EPÍLOGO

Casi cien años después de haber obtenido la independencia de Inglaterra, los norteamericanos se habían enfrentado entre sí por el asunto de la esclavitud. Se convirtió en una de las luchas de clases más amargas y violentas de la historia pero también pasó: el 9 de abril de 1865, en Appomattox (Virginia), Robert E. Lee se rendía a Ulysses S. Grant y con ello estaba a punto de terminar la esclavitud.

Durante la guerra de 1812, las noticias de su finalización habían viajado tan despacio que los soldados norteamericanos y británicos habían seguido luchando durante dos semanas enteras después de que se hubiera firmado un tratado de paz. Ahora las cosas eran bien distintas: porque gracias al telégrafo, la noticia de la rendición de Lee se extendió por todo el mundo en un instante.

El telégrafo llevaba funcionando desde 1844 pero ya estaba aproximando a personas de todo el mundo al permitirles comunicarse a la velocidad de la luz. Patentado en primer lugar por un pintor estadounidense llamado Samuel Finley Morse, el telégrafo era resultado directo del descubrimiento del electroimán de Orsted, Ampère y Arago.

Cuando el emisor presionaba una tecla, ponía en marcha una corriente eléctrica que viajaba por un cable hasta el extremo receptor donde ponía en marcha un pequeño electroimán. Cada vez que se daba

esa circunstancia, el electroimán atraía una fina lengüeta de hierro produciendo un chasquido; cada vez que el emisor soltaba la tecla, se interrumpía la corriente eléctrica, el electroimán quedaba quieto y la lengüeta de hierro volvía a su posición normal, sin doblar.

Morse había desarrollado un código de tal manera que los chasquidos intermitentes producidos por su novedoso dispositivo pudieran deletrear cualquier letra del alfabeto. En consecuencia, y con práctica, un buen operador telegráfico era capaz de enviar o de recibir unas 150 letras por minuto.

Los propios telégrafos los habían desarrollado y mejorado muchas personas y no solo Morse, pero no habían llamado mucho la atención hasta el estallido de la guerra civil norteamericana. Durante aquel conflicto, el telégrafo había modificado la estrategia militar para siempre, facilitando las comunicaciones entre los oficiales de campo y sus respectivos comandantes en los cuarteles generales.

Una vez que se hubo terminado la guerra y el telégrafo se hubo ganado un lugar respetado, veinte países decidieron firmar un pacto por el que acordaban normalizar el equipo y las comunicaciones telegráficas. Fue el antecedente de la UTI (Unión Telegráfica Internacional) y de empresas privadas como la AT&T (American Telephone and Telegraph) y la IT&T (International Telephone and Telegraph).

Orsted, Ampère y Arago habían muerto antes de ver las consecuencias de su descubrimiento, pero su colega Michael Faraday seguía vivo aunque estaba enfermo. Había sabido de la rendición de la Confederación y del histórico pacto del telégrafo por sus sobrinas que, con sus cuidados, intentaban que él y su esposa Sarah recuperaran la salud.

El propio Faraday acababa de renunciar a su largo período como director de la Real Institución: treinta y seis años. Un reinado sin precedentes: nadie del más bajo escalón de la sociedad inglesa había llegado nunca a la cabeza de la Real Institución ni se había ganado la vida con lo que otros antes que él habían hecho fundamentalmente por placer intelectual; de ahí en adelante, la ciencia dejaría de ser una afición de los económicamente ricos para convertirse en una profesión de los abiertos de espíritu.

Con setenta y tres años, aquel humilde siervo de la ciencia vivía en una casita que le había alquilado la reina Victoria. Su Majestad sentía cariño por el viejo Faraday y se comportaba generosamente con él, pero Faraday no había explotado la relación ni había disfrutado de ella como hubiera hecho cualquiera un poco más extravagante que él. Además, y desde bien temprano, había aprendido que tales complacencias solían acabar en dificultades.

Por ejemplo, en 1844, a Faraday se le había suspendido como anciano de los sandemanianos por faltar un domingo al servicio de adoración: la única vez que le ocurrió durante toda su vida. Intentó explicar que había cenado con la reina, pero los padres de la Iglesia, de mente estrecha, no aceptaron la excusa.

Aunque sus estrictas creencias religiosas no le habían permitido convertirse en socialmente elitista, sí le habían permitido aceptar la legión de honores científicos que sus admiradores le otorgaban en todas partes. A lo largo de los años, Faraday recibió en conjunto no menos de un centenar de títulos y de encomiendas de casi todos los principales países del planeta.

No es que le importara la aprobación de los demás: había tenido suficiente recompensa al realizar el sueño de su vida de convertirse en científico. Faraday había aceptado todos aquellos honores por pura cortesía: «Los veo como nombramientos de miembro honorario —explicó en una ocasión— que no pueden rechazarse sin que suponga una especie de insulto para la otra parte».

Aunque a Faraday se le había honrado por todo tipo de logros notables, su máximo logro había

sido el descubrimiento en 1831 de la fuerza magnética cambiante que producía electricidad. Aquella percepción tan sencilla había cambiado el mundo, porque había originado las dínamos, dispositivos prometeicos que eran capaces de producir electricidad prodigiosamente, con mucha mayor eficacia que las pilas de Volta.

Las dínamos o generadores creaban una fuerza magnética siempre cambiante sencillamente haciendo girar un imán. Mientras las dínamos siguieran girando, la ecuación de Faraday garantizaba que producirían una corriente continua de electricidad.

Averiguar cuál era la mejor manera de hacer girar un imán había sido el aspecto clave del diseño del generador. En un principio, en la década de 1830, los ingenieros habían usado un *motor eléctrico* para hacer girar el imán de la dínamo; el propio motor giraba continuamente aprovechando parte de la electricidad producida por el generador. En otras palabras, la dínamo se alimentaba a sí misma, como una persona que siempre reservara una parte de su energía corporal para fabricar su propio alimento.

Más tarde, sin embargo, los ingenieros colocaron unas paletas en el imán de la dínamo. En un primer momento, las ruedas con álabes giraban por la fuerza del agua que caía en una cascada, creando lo que dio en llamarse plantas de producción *hidroeléctrica*.

Hubo otros que decidieron hervir agua con la idea de utilizar el vapor resultante para mover las ruedas magnéticas con sus álabes; lo cierto es que fue una idea tan espléndida que incluso ya bien metidos en el siglo XX las dínamos siguen movidas por vapor aunque la fuente de calor puede provenir de una enorme diversidad de combustibles, entre ellos la energía atómica, la madera, el petróleo, el carbón e, incluso, ¡el estiércol animal!

Si el vapor se producía a presión muy alta, además, los ingenieros descubrieron que hacía girar muy rápidamente a la dínamo. Según lo dicho por la ecuación de Faraday, los imanes que giran muy deprisa producían una fuerza magnética muy rápidamente cambiante y una mayor corriente eléctrica.

En 1865 los generadores ya eran suficientemente potentes como para proporcionar gigantescas lámparas de arco en lo alto de la mayoría de los faros. En las décadas siguientes, las dínamos seguirían aumentando de tamaño y de potencia para poder generar la suficiente potencia y hacer funcionar el teléfono de Alexander Graham Bell, las bombillas de luz de Thomas Alva Edison, la radio de Guglielmo Marchese Marconi… y un creciente ejército de maquinaria industrial.

Las dínamos electrificaron la Revolución industrial al reemplazar las resollantes y poco eficientes máquinas de vapor por motores eléctricos relativamente silenciosos y de funcionamiento uniforme. Además, y con la creciente disponibilidad de electricidad, personas de todas las clases terminaron por beneficiarse de los aparatos que ahorraban trabajo doméstico, tales como el aspirador, la plancha o la lavadora.

Allá donde se construyeran, los generadores dinamizaban la economía de ciudades en todo el mundo. Ayudaban a crear empleos, productos y consumidores de manera tan amplia que, de hecho, su producción combinada pronto llegó a ser la medida de prosperidad de una ciudad. En adelante, el producto interior bruto de un país crecería o caería a la par que su producción total de electricidad, una correlación sorprendente que no habría podido ver ninguna otra forma de energía.

En 1867, mientras la electricidad estaba en vías de mejorar el nivel de vida de millones de personas en todas partes del mundo, el propio Michael Faraday, la dínamo humana que había contribuido a hacerla posible, comenzaba a detenerse. «Me quedo en casa, inútil para mayores esfuerzos —había escrito hacía unos pocos años—, excusado de toda tarea, contento y feliz en mi interior, arropado por la amabilidad de todos y honrado por mi reina».

Había trabajado durante cuarenta y tantos años, completando siete volúmenes de detalladas notas de laboratorio; había dejado no una sino dos veces la presidencia de la Real Sociedad,[6] y había declinado la oferta de la reina de convertirle en caballero. «Debo seguir siendo sencillamente Michael Faraday hasta el final», había explicado con mucha educación.

A los amigos que se le acercaban para recordar o para preguntarle sobre sus actividades, un frágil Faraday les hacía notar que sencillamente «estaba esperando». Había hecho todo lo que había soñado hacer y algo más; ya era hora de descansar. El 25 de agosto de 1867, Michael Faraday, siempre atento, murió sentado en su sillón preferido.

La reina Victoria había ofrecido a Faraday el honor final: ser enterrado con Isaac Newton y demás lumbreras en la abadía de Westminster. Pero, como era de esperar, el famoso científico había rehusado optando en su lugar por que se le hiciera «un funeral sencillo y simple, al que no asistan nada más que mis parientes, y luego una lápida del tipo más corriente en el lugar más normal de la tierra».

Michael Faraday había muerto como había vivido, deseando no ofender ni a Dios ni a sus colegas. «Ahora que han pasado cuarenta años —había escrito un Faraday cada vez más envejecido que miraba a todo lo que había conseguido—, sigo esperando… no haber sido ni ahora ni hace cuarenta años demasiado atrevido».

En tres cuartos de siglo, Faraday había pasado de ser un chico de los recados, pobre, que trabajaba duramente, a ser un científico pobre que trabajaba no menos duramente. Ni entonces ni luego han cambiado tan permanente y tan profundamente ni la sociedad ni la ciencia. Por ese motivo, Michael Faraday, hijo de pobres y confidente de príncipes, siempre será recordado por estar en una categoría propia.

UNA EXPERIENCIA NADA PROVECHOSA

Rudolf Clausius y la Segunda Ley de la Termodinámica

De nada sirve llorar sobre la leche derramada cuando todas las fuerzas del universo se aplicaron en derramarla.

SOMERSET MAUGHAM

La vida, reflexionaba Rudolf Clausius, de cincuenta y tres años de edad, había sido bastante buena; sin embargo, su normal azacaneo le había desgastado física y emocionalmente. Y aún peor, ahora se enfrentaba a una crisis muchísimo más calamitosa que el persistente dolor de rodilla y los demás pequeños deterioros que había ido acumulando durante su vida: su esposa, Adelheid, estaba en peligro de no sobrevivir al nacimiento de su sexto hijo.

Sonriendo valientemente a los cinco niños que se sentaban ansiosos en el sofá, fantaseó con la posibilidad de dar marcha atrás al reloj; volvió a pensar lo afortunado que era de ser quien era… el físico más celebrado de toda Prusia. Antes que él, los científicos habían empezado a comprender el complicado comportamiento de la tierra, el aire y el agua; pero había sido él, Clausius, en 1850, el que había descubierto por vez primera la auténtica naturaleza del *fuego*, sin duda el más misterioso de los cuatro elementos terrestres de Aristóteles.

Siempre había sido un hombre que otorgaba poco valor a la aprobación que sus logros le habían ganado en todo el mundo. Pero en ese momento concreto, le animaba mucho estar en aquella privilegiada posición porque hacía posible que su «Adie» tuviera los mejores cuidados médicos que el dinero y el prestigio podían procurar.

Mientras levantaba la mirada hacia su habitación, esperando a que el médico diera el parto por concluido, los gritos de su esposa le rompían el corazón del mismo modo que aquella bala enemiga le había roto la rodilla. Incapaz de quedarse de pie se dejó caer en la silla más próxima y cogió en brazos al quejumbroso niño de tres años, el más pequeño de los Clausius.

En 1872, cuando concibieron a aquel niño, la vida era mucho más agradable y emocionante. Aquel año, Clausius había traído de vuelta a su amada Prusia a la familia después de haber pasado en el extranjero una larga temporada. La terrible guerra contra los franceses acababa de terminar y qué mejor modo de conmemorar su regreso a casa y la creación del Imperio germánico, se habían dicho sonrientes Adie y él, que aportar una pequeña creación propia.

Fue un año bueno, desde luego, meditaba Clausius mientras abrazaba al pequeñuelo. Pero si hubiera tenido el poder de hacerlo, echaría el reloj aún más atrás, a una época antes de la guerra, *antes* de la herida que había sufrido mientras servía como voluntario en el cuerpo de ambulancias militares.

¡La guerra! Qué parecidas eran las políticas de guerra a las vicisitudes de la vida, meditaba el gran científico prusiano, intentando desesperadamente ocupar su mente mientras esperaba noticias de su

esposa. Ambas tenían en su esencia las luchas épicas y eternas entre lo bueno y lo malo, entre la vida y la muerte, entre la victoria y la derrota.

Y también, pensaba cansinamente Clausius, en el análisis final tanto vida como muerte parecían un tanto sin sentido. Pero, se preguntaba, ¿carecerían de sentido verdaderamente? Si un administrador cósmico pudiera registrar todos los resultados de todas las luchas (grandes y pequeñas) que se habían producido en todo el universo durante todo el tiempo ¿qué respondería?

Suponiendo que las luchas pudieran cuantificarse no se sabía cómo (a semejanza de las competiciones olímpicas), ¿descubriría el administrador que, al final, el Bien prevalecía sobre el Mal? ¿La Vida sobre la Muerte? ¿La Victoria sobre la Derrota? ¿O descubriría que todo equivalía a un empate gigantesco y sin significado?

Clausius pensaba que a principios del siglo a Napoleón I y al pueblo francés se les había otorgado una gran victoria. Entonces el imperio *era de ellos, eran ellos* los que regían los destinos de Europa. ¡Pero había que ver lo que había ocurrido recientemente! En primer lugar, Napoleón I y luego Napoleón III y su pueblo habían caído derrotados (no: humillados, mejor) por el formidable ejército prusiano. Por ello, por lo que se refería a los actuales franceses y prusianos, el resultado final de esas batallas, de esas muertes, había sido una pérdida absoluta.

Perdido en sus reflexiones, Clausius se dio cuenta repentinamente de que su esposa llevaba varios minutos sin chillar. Era una luchadora, igual que lo eran los comuneros franceses que habían defendido París hasta el amargo fin contra los prusianos, incluso después de que se rindiera el resto de Francia. Odiaba a los franceses, pero admiraba aquel coraje.

Sin embargo, esperaba y rezaba para que su esposa tuviera más éxito en rechazar a la muerte que la que habían tenido los mártires comuneros. Por supuesto que lo deseaba por ella, pero también por sí mismo y por los niños; hasta el mayor de sus hijos, que tenía catorce años, era demasiado joven todavía para quedarse sin madre.

Conforme pasaban los minutos, la espera aparentemente interminable comenzó a influir en el comportamiento de los niños. Cada vez estaban más inquietos y llorosos queriendo saber qué pasaba con su madre. En un esfuerzo por aplacar sus temores, Clausius subió la escalera preguntándose por qué todo se había quedado tan silencioso.

Sin embargo, apenas había llegado a la escalera cuando el silencio quedó roto por el chillido de un niño recién nacido. A Clausius le costó un momento reaccionar pero en cuanto reconoció aquel hermoso sonido subió saltando la escalera con una sensación victoriosa de felicidad y de alivio.

Se maravillaba de que su esposa lo hubiera conseguido una vez más, pero él ya le había prometido a Dios que sería la última si le concedía salvar la vida de Adie. Ambos habían querido salvar al niño (y sobre todo ella) pero ya no pondría en peligro su vida con tal de aumentar la familia.

En el momento en que aquel hombre jubiloso llegaba al rellano de la escalera, se abrió la puerta del dormitorio de su esposa. Salió el médico pero, cosa rara, no sonreía. Hizo una seña a Clausius y le confió en un susurro, con voz agotada, que su esposa no había sobrevivido a la prueba. El niño había nacido de nalgas, explicó el médico, dando lugar a un forcejeo en el cual el corazón exhausto de Adelheid sencillamente se había detenido.

Clausius se agarró a la balaustrada para permanecer en pie. En un principio fue incapaz de comprender el auténtico significado de lo que acababan de decirle. Al poco, cuando hubo comprendido, empezó a derrumbarse, pero inmediatamente se rehízo dándose cuenta de que los niños le miraban desde abajo.

Recomponiéndose, Clausius siguió al médico a la habitación de su esposa. Estaba oscura, porque habían bajando las persianas, y olía a sudor y a sangre. La habitación estaba en silencio salvo por el llanto del miembro más reciente de la familia Clausius, una niña preciosa.

Con timidez, reverentemente, Rudolf Clausius se acercó a la cama en la que yacía tendida su Adie, con las sábanas enrojecidas. Tenía todavía los ojos abiertos, como si estuviera viva, y la piel todavía caliente. Pero la inmovilidad de su cuerpo sofocó cualquier atisbo de esperanza. No se había equivocado el médico: su valiente y bella esposa durante dieciséis años había perdido su batalla con la muerte.

Sosteniendo la mano cada vez más fría de su esposa, Clausius se lamentaba amargamente y pensaba lo irónica, cruel y dolorosa que era la batalla intemporal entre la vida y la muerte. Había dedicado su carrera a la comprensión científica del calor. Pero al ver cómo el calor de la vida desaparecía de la mano de su esposa, lo único que podía sentir era un abrumador sentimiento de ira por la aparente locura de la existencia humana.

Clausius pensaba, moviendo la cabeza pesarosamente, que desde el momento en que somos concebidos poco más hacemos que luchar unos contra otros y con la muerte. Compadecemos al soldado muerto en la batalla por haber muerto violentamente. Pero la verdad es que todos pasamos nuestra vida en una lucha por la supervivencia violenta y, en último extremo, fútil.

Cualquiera que haya vivido se habrá dado cuenta de esa terrible verdad, pero Clausius la entendía *mejor* en ese momento que cualquier otro que hubiera vivido antes y no solo por la muerte de su esposa. Hacía veinticinco años, su revolucionaria teoría del calor le había permitido describir la vida y la muerte no emocionalmente sino *cuantitativamente* en unos términos que no tenían precedente.

En consecuencia, había sido capaz de calcular la respuesta a aquella extraordinaria pregunta acerca del registro administrativo sobre la vida y la muerte. En determinado momento, sus cálculos habían revelado que en el universo morían más cosas de las que nacían; la muerte siempre derrotaba a la vida, lo que explicaba por qué cada vida concreta llegaba siempre a un final. Siempre.

Como conjunto el universo moría, había descubierto Clausius, sucumbiendo inexorablemente su vida (lucha a lucha) a las fuerzas de la muerte. Incluso entonces, en aquel momento de tan hondísima pena, se había mantenido ese desequilibrio inflexible: había perdido una esposa y había ganado una hija, pero en su mente y en su corazón Clausius comprendía cómo y por qué la gran ecuación de la vida se llevaba más de lo que daba.

VENI

En el conjunto del universo solo hay dos tipos de procesos. Los procesos *reversibles* son aquellos cuyas consecuencias pueden revertirse, como compras que pueden devolverse a cambio del dinero pagado, o como una película que puede pararse y pasarse al revés. Los procesos *irreversibles* son aquellos cuyas consecuencias son imposibles de revertir como los insultos horribles cuyo daño no se puede remediar o como los inevitables estragos del tiempo en nuestros cuerpos.

Al ser perfectamente revocables, los procesos reversibles pueden desarrollarse siempre, primero hacia delante, luego hacia atrás, luego otra vez hacia delante, luego otra vez hacia atrás, y así sucesivamente hasta el infinito. Ciertamente, en teoría, las máquinas de movimiento perpetuo están movidas por mecanismos reversibles, análogos al repetitivo pedaleo de un ciclista incansable: arriba,

abajo, arriba, abajo.

Por contra, los procesos irreversibles son mortales. Cuando se producen van deteriorándose de manera indeleble, como un huevo que se bate o un tomate que se pudre. Hablando de modo amplio las cosas «envejecen» y siempre terminan por morir o por quedar destruidas.

«La vida sería infinitamente más feliz —se lamentó Mark Twain en una ocasión— si pudiéramos nacer a los ochenta y acercarnos gradualmente a los dieciocho». Aunque pudiera ser verdad, vivir es un proceso inexcusablemente *irreversible*. Desde el momento en que se concibe una vida su tiempo sobre la tierra siempre procede del pasado, pasa por el presente y se adentra en el futuro; nunca se produce un flujo distinto, de diferente manera.

Por otro lado, el filósofo del siglo XVII Isaac Newton se dio cuenta con cierta sorpresa del carácter general de *reversibilidad* que parecía tener el universo: los objetos rodaban hacia arriba y hacia abajo, los péndulos iban a izquierda y a derecha; las cosas explotaban e implosionaban; en resumidas cuentas parecía haber un proceso natural que se comportaba exactamente en sentido contrario. Por tanto ¿podría ser que el universo fuera un *perpetuum mobile* de tamaño cósmico destinado a existir para siempre?

Durante la mayor parte del siglo XVIII, los filósofos de la naturaleza habían propendido a contestar afirmativamente, conclusión científica completamente en la línea del sentido común y de las convicciones judeocristianas. Les resultaba difícil imaginar que el universo pudiera llegar a un final; peor aún: era blasfemo imaginarlo, habida cuenta de que el mismísimo Creador formaba parte de él, eterno e inalterable.

Sin embargo, y a finales de la década de 1700, los filósofos se quedaron pasmados al descubrir que el cosmos *no* era completamente reversible después de todo: había diversos procesos naturales que no parecían tener contrapartidas naturales y dos de ellos, por lo menos, tenían que ver con el calor.

En primer lugar, el calor siempre parecía fluir de lo caliente a lo frío y nunca de lo frío a lo caliente. Una cacerola de agua fría colocada en una hoguera en el campo, por ejemplo, siempre se calentaba. Nunca se daba que el agua se enfriara y el fuego se calentara más; es decir, una cacerola de agua encima de un fuego nunca se congelaba.

En segundo lugar, la *fricción* siempre transformaba movimiento en calor y nunca al contrario. Aplicar sencillamente los frenos de un vehículo en marcha hacía detenerse el vehículo y que los frenos se calentaran. Pero no había mecanismo natural (una especie de «contrafricción») mediante el cual el calor se transformara espontáneamente en movimiento. De haberlo, el mundo sería un lugar verdaderamente extraño: por ejemplo, las rocas calentadas por el sol se pondrían en movimiento súbitamente, por sí solas, como si poseyeran un espíritu invisible y director.

La existencia de estos procesos naturalmente irreversibles suponía que, al igual que la vida misma, el universo envejecía cambiando de un día para otro de un modo que no se podía volver atrás nunca. Pero ¿de qué manera exactamente «envejecían» al universo esos dos procesos irreversibles del calor? Y ¿ese proceso de envejecimiento sería mortal necesariamente o sería capaz de sobrevivir el universo no se sabía cómo?

Por supuesto que se trataba de cuestiones científicas pero como abarcaban asuntos como la mortalidad, pronto se vieron entremezcladas con las más profundas conjeturas filosóficas sobre la existencia humana. De hecho, el asunto del calor y su efecto sobre el universo terminaría por llegar al mismísimo corazón de nuestras creencias religiosas.

Quien no encontraba muy alentadora esta creciente confluencia entre los mundos espiritual e

intelectual era un clérigo protestante llamado Ernst Carl Gottlieb Clausius. Hombre muy devoto y religioso, creía que solo Dios podía entender los misterios de nuestra creación y de nuestra mortalidad y que los tenaces esfuerzos del hombre para comprenderlos eran arrogantes y estaban predestinados al fracaso.

El pueblo de Köslin, una población pequeña de la Prusia septentrional (hoy llamada Koszalin, situada en la esquina noroccidental de Polonia) tenía a Clausius por un ministro estricto. Era un tradicionalista inquebrantable que guardaba los mandamientos de la ley de Dios y sobre todo aquel que exhortaba a los creyentes: «Creced y multiplicaos».

Cerca de finales del año 1821, Clausius ya tenía trece hijos y su esposa estaba embarazada de otro más. La emoción de la familia por el inminente nacimiento impregnó los días navideños y del nuevo año hasta que finalmente ocurrió el gozoso acontecimiento. El 2 de enero de 1822, Clausius y su esposa se convirtieron en padres de otro chico al que llamaron Rudolf Julius Emmanuel.

Ese mismo año, en París, un joven ingeniero francés había dado a luz una nueva era. Después de años de tenaz esfuerzo, Sadi Carnot daba los últimos toques a su gran obra *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*… que un día llegaría a inspirar al recién nacido Clausius para hacer unos descubrimientos sobre el calor que cambiarían para siempre el mundo.

Hijo de Lazare Carnot, brillante ministro de la guerra de Napoleón I, el joven Sadi había crecido en los primeros años del siglo, en el auge del Imperio francés. Sin embargo, habiendo visto en primera fila su decaimiento a manos de Inglaterra, Prusia, Austria y Rusia, ahora deseaba ver cómo Francia recobraba su dignidad aprovechando el poder del vapor.

Carnot advertía que Inglaterra ya había utilizado máquinas de vapor para extraer enormes cantidades de carbón para fundir unas cantidades de hierro sin precedentes, material esencial para el futuro de cualquier país industrializado. Carnot observaba que, de hecho, tan esenciales habían sido las máquinas de vapor para que el principal oponente de Francia fuera el número uno del mundo que prescindir de ellas ahora «sería agotar todas las fuentes de su riqueza, echar por tierra todo aquello de lo que depende su prosperidad y, dicho brevemente, aniquilar un poder colosal».

Al joven Carnot le dolía que las máquinas de vapor inglesas fueran más eficientes que las francesas: a cantidades idénticas de combustible, las máquinas inglesas producían invariablemente más trabajo. A remediar sobre todo esa disparidad humillante y peligrosa había dedicado Carnot su vida, entregado al estudio de aquellas maravillosas máquinas.

Carnot aprendió que la mayoría de las máquinas de vapor quemaban madera o carbón convirtiendo el agua en vapor. El vapor a alta presión llenaba los pistones de la máquina haciéndolos moverse hacia abajo. Cuando se soltaba el vapor por una válvula, los pistones recobraban su posición originaria. El vapor desprendido se conducía a un radiador frío donde volvía a convertirse en agua que fluía hasta la caldera donde volvía a convertirse en vapor a alta presión.

Una máquina de vapor repetía estos pasos muchas veces por segundo. Se trataba de una maquinaria compleja pero su efecto principal era bien sencillo: se le daba calor y ella devolvía trabajo, aunque normalmente hacía falta una buena cantidad de calor para producir muy poco trabajo.

Durante esa época, se creía de manera generalizada que el trabajo que producía una máquina estaba determinado solo por la temperatura de su caldera; es decir, que a mayor temperatura de la caldera, más vapor producía, más deprisa y más contundentemente se movían los pistones y más trabajo se generaba. Daba la impresión de ser de sentido común, pero como Carnot revelaría después en su histórico tratado, no tenía nada que ver con el sentido común.

Volviendo a Köslin, unos años después del nacimiento de su hijo Rudolf, el reverendo Clausius se encontraba en los últimos preparativos para mudarse con su familia al cercano pueblo de Ückermünde donde se le había invitado a regentar una escuela privada. Con tantas bocas que alimentar, el viejo Clausius había aceptado ansiosamente aquel nuevo empleo pedagógico. Incrementaría su magra paga como ministro religioso y le proporcionaría una oportunidad conveniente de influir en sus hijos tanto espiritual como intelectualmente.

Ückermünde estaba a unos ciento sesenta kilómetros al sudoeste de Köslin, de modo que la familia Clausius tardó varios días en hacer el viaje. Cuando llegaron no se vieron decepcionados: su nuevo pueblo estaba situado en la costa de la bahía de Pomerania, junto al mar Báltico, lo que le daba un entorno encantador y un clima relativamente estable al estar las variaciones estacionales atemperadas por el agua.

En cuanto Rudolf tuvo edad suficiente, empezó a asistir a la escuela de una sola clase del reverendo Clausius, junto con sus hermanos y hermanas. Estaba animosamente dispuesto, tenía una curiosidad enorme y no se veía nada inclinado a seguir los pasos eclesiásticos de su padre.

El joven Clausius tenía curiosidad por el mundo *natural*. En verano le gustaba recorrer la costa recogiendo conchas y disfrutando del cálido sol. Si quería cambiar de panorama trepaba por los bosques de Pomerania, recolectando piedras y excavando diminutas conchas fosilizadas de los estratos montañosos.

En clase, el joven Clausius estaba ávido de saber cómo habían llegado las conchas a montañas tan alejadas del océano y su padre no tenía menos avidez en explicárselo. Según la Biblia y los geólogos que se llamaban a sí mismos neptunistas, le enseñaba el reverendo Clausius, el gran diluvio de Dios había matado a todas las criaturas del mundo salvo a aquellas que se encontraban a bordo del arca de Noé. Después de que se retiraran las aguas, los caparazones de aquellas criaturas habían quedado en sitios altos y secos, enterrados en el barro que produjo el diluvio. Por ello, concluía su padre, los ministros como él de toda Europa habían colgado fósiles en las vigas de sus iglesias con la inscripción: «Huesos de los gigantes mencionados en las Escrituras».

Las Escrituras también eran muy concretas en cuanto a la fecha del diluvio, se le explicó al joven. Había ocurrido hacía 4.180 años, número que se obtenía sumando las edades de las personas descritas en el Antiguo Testamento. Utilizando la misma técnica, explicaba el ministro, los neptunistas habían estimado también las edades de la Tierra y del Sol: los dos tenían unos 6.000 años.

Hasta que Rudolf Clausius no fue al instituto en la cercana ciudad portuaria de Stettin no descubrió cómo era completamente posible explicar el mundo natural sin referencia alguna a lo sobrenatural. Fue la primera exposición de aquel adolescente a la educación seglar e iba a prender en él una llama de devoción al estudio del calor durante toda su vida.

En contraste con los neptunistas de sesgo religioso, el joven Clausius se enteró de que había geólogos seculares a los que se llamaba uniformistas. Hacía bien poco que uno de sus principales adalides, un británico llamado Charles Lyell, había escrito un provocativo libro titulado: *Elementos de geología: como intento de explicar los antiguos cambios en la superficie de la Tierra con referencia a las causas que hoy siguen actuando*.

Lyell afirmaba que a lo largo de la historia la Tierra había cambiado de manera *continua* y *gradual*, debido a fuerzas geológicas comunes y corrientes y no mediante explosiones intermitentes y catastróficas de furia divina. Escribía, además, que esas fuerzas geológicas se alimentaban gracias a un inagotable suministro de calor que procedía del propio interior fundido de la Tierra, así como el

cuerpo humano se sustentaba con el calor de su corazón.

Teniendo en cuenta que por lo general los científicos iban abandonando su vieja idea de inspiración newtoniana de un universo perpetuo, la visión de Lyell de una Tierra inagotable estaba decididamente pasada de moda, pero sin embargo se hizo inmensamente popular entre sus colegas uniformistas. «Hasta que nos acostumbremos a contemplar la posibilidad de un indefinido lapso de eras —repetía Lyell, estridente y severo—, seguiremos en peligro de hacernos las ideas más erróneas en lo que se refiere a la geología».

El joven Clausius apenas podía dar crédito. La sugerencia de que la Tierra *no* tenía 6.000 años de edad ya era suficientemente emocionante, pero más todavía lo era imaginar que bajo sus pies, a miles de kilómetros por debajo, en el mismísimo centro de la Tierra, podía haber una máquina de calor lo suficientemente poderosa como para haber esculpido el mundo natural: las montañas, las cuencas marinas, todo aquello que tanto le cautivaba.

Como resultado de aquella epifanía, el joven comenzó a quedar cada vez más fascinado por las máquinas movidas por calor. Aprendió que llevaban mucho tiempo en uso, desde la antigüedad, pero que no habían sido útiles hasta los inicios del siglo XVIII, y hasta que en 1764 el ingeniero escocés James Watt hizo algunas mejoras importantes. El joven Clausius hasta tuvo la oportunidad de ver una bomba de vapor en funcionamiento.

De hecho, en 1840, Rudolf Clausius había visto, aprendido y hecho más como estudiante en Stettin que durante toda su vida en Ückermünde. Dos años antes, los barcos movidos por vapor habían cruzado el poderoso océano Atlántico por primera vez en la historia. En ese momento, y gracias a su formación de instituto que le había abierto los ojos, se sintió liberado de las ataduras del pasado igual que aquellos barcos.

Después de obtener su título, aquel joven ávido de dieciocho años ingresó en la Universidad de Berlín, como habían hecho antes que él cinco de sus hermanos. Empezó con cursos de ciencia y matemáticas e inmediatamente quedó cautivado por una cosa aprendida de su profesor de física, Gustav Magnus.

Un día de clase, Magnus había revelado que había hecho un sorprendente descubrimiento respecto al calor corporal. Parecía que lo producían unas reacciones químicas complejas que se daban en nuestra sangre, explicó Magnus, y no en los pulmones como siempre habían creído los científicos.

En ese instante, el joven Clausius sintió que debía de ser fascinante y que merecería la pena tener en cuenta seriamente la posibilidad de dedicarse al estudio del calor. *Fascinante* por el papel central del calor en los orígenes del mundo natural y en la vida de nuestros propios cuerpos. Y que *merecería la pena* porque aun siendo todavía jadeantes y ruidosas, las máquinas de vapor habían madurado increíblemente en la corta vida de Clausius, revolucionando la industria y dando origen a lucrativas carreras para ingenieros que conocieran los misterios del calor.

Para cuando llegó al curso superior, en 1843, el joven Clausius ya estaba satisfecho de cómo le habían ido las cosas en la vida. Había obtenido buenas notas y tenía el respeto de sus profesores y compañeros. Y, lo que era igual de importante, sus intereses no académicos en las ciencias naturales se habían organizado finalmente en una breve lista de asuntos preferidos en la que el calor aspiraba a los puestos más altos.

Sin embargo, repentinamente se quedó sin aquel *esprit de vivre* al saber que su madre había muerto en el parto de su decimoctavo hijo. Con los años, cada embarazo le había robado parte de la fuerza que necesitaba para sobrevivir y en esa ocasión, cosa terrible, ya no había tenido más energía.

No queriendo que sus gastos recayeran sobre la familia, el joven y apenado Clausius decidió aceptar un empleo de tutor a tiempo parcial. Además, y como la mayoría de sus hermanos mayores ya estaban casados y con obligaciones para con sus familias, se ofreció voluntariamente para educar a sus hermanos más pequeños; pensaba Clausius que de esa manera no sufrirían tanto la ausencia de una madre atenta y cariñosa.

Aunque esas responsabilidades añadidas le quitaron tiempo de su curso en la universidad, Clausius consiguió completar sus estudios de primer ciclo en 1844. Inmediatamente después, comenzó los de ciclo superior en la Universidad de Halle, a unos ciento sesenta kilómetros al sudoeste de Berlín.

Decidido a no renegar de su promesa de ayudar a educar a sus hermanos menores, Clausius decidió quedarse en Berlín y acercarse a Halle a caballo. Como era una jornada dura cabalgando, Clausius llegó a acuerdos especiales con sus profesores mediante los cuales estudiaría todo lo posible durante el viaje y en casa asistiendo a clase tan solo para las lecciones más importantes.

Era un modo sumamente ineficaz de obtener un doctorado pero tenía la ventaja de dar a Clausius libertad de leer y de aprender a su propio ritmo. Empezó por tantear aquel interés suyo por el calor y en cuestión de poco tiempo se sintió muy atraído por el asunto.

Al joven le intrigaban sobre todo los científicos y los ingenieros que habían descubierto algún modo de que el calor se comportara de manera *antinatural*. Por ejemplo, los chinos habían inventado un dispositivo que obligaba al calor a ir de lo frío a lo caliente, completamente al contrario de su tendencia natural; lo llamaban refrigerador, funcionaba con hielo y aprovechando el principio de evaporación.

Dejando a un lado los detalles de su funcionamiento, Clausius supo que su efecto final era obligar al calor a fluir desde una caja fresca hasta el relativo calor de la habitación en que se encontraba. La consecuencia era que la caja se enfriaba todavía más y la habitación se calentaba más, cosa que nunca habría ocurrido de manera natural.

El joven Clausius se sintió especialmente cautivado con la vida de Sadi Carnot que también había observado que las máquinas de vapor eran fundamentalmente dispositivos que se comportaban de modo antinatural. Carnot explicaba que eran la antítesis de la fricción, capaces de hacer lo que no podía hacer la naturaleza: convertir el calor en movimiento.

¡Qué forma tan infrecuente de mirar una máquina tan corriente! Clausius estaba ansioso por leer algunos escritos más de aquel hombre y sobre todo su libro titulado *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*…, del que Clausius sabía que era su principal obra.

Durante meses buscó con ansiedad por librerías y bibliotecas en todas partes, pero siempre salió con las manos vacías y terminó descubriendo por qué. En 1832, con solo treinta y seis años, Carnot había enfermado de cólera. En consecuencia, y por orden del inspector de salud, se había procedido a quemar todas sus pertenencias personales, incluyendo casi todos sus papeles.

Sin dejarse desalentar, el joven Clausius atisbó todo lo que pudo de la obra de Carnot a través de la lectura de fuentes de segunda mano sorprendiéndose de lo mucho que aprendía. Según el ingeniero francés, el trabajo que realizaba una máquina de vapor *no* solo dependía de la temperatura de su caldera; dependía de la *diferencia* de temperaturas entre la caldera y el radiador. Clausius leyó que aquella fórmula tan sencillamente expresada era una revelación de primer orden la que se conocía como principio de Carnot.

Para poder funcionar, una máquina de vapor no solo necesitaba calor sino *flujo* de calor; y eso solo se daba cuando había una *diferencia de temperatura* entre la caliente caldera de la máquina y el

radiador, más fresco. «La producción de calor no es suficiente para dar origen a la potencia impulsora —había deducido Carnot— es necesario que haya frío; de otro modo, el calor sería inútil».

En román paladino: Carnot indicaba que una máquina de vapor no era más que un molino de rueda. Ese molino funciona aprovechando el agua que fluye naturalmente de un lugar alto a otro bajo; de manera parecida, la máquina de vapor funciona aprovechando el calor que fluye de una caldera caliente hacia un radiador relativamente frío. A mayor cantidad y mayor caída (imaginémonos las cataratas del Niagara) mayor potencia producirá el molino; de forma análoga, a mayor cantidad y mayor «salto de calor», más trabajo producirá una máquina de vapor.

Clausius quedó encantado de saber que Carnot había hecho un descubrimiento más e igualmente sorprendente. Según el principio de Carnot, una máquina cuyas temperaturas de caldera y radiador fueran, por ejemplo, 160 y 40 ℃, respectivamente, produciría unos 27.000 millones de julios de energía por cada tonelada de carbón que quemara; teóricamente, una máquina así podría elevar un peso de 2.700 millones de kilos a un metro del suelo… o lo que era equivalente, un peso de un kilo a 2.700 millones de metros del suelo.

Sin embargo, cuando Carnot midió el resultado real de muchas máquinas diferentes descubrió que las mejores máquinas inglesas producían tan solo un veinteavo de esa cantidad; las máquinas francesas funcionaban incluso peor. En otras palabras: todas las máquinas parecían quedarse cortas en cuanto al ideal teórico de Carnot. ¿Y por qué?, se había preguntado el joven francés.

La respuesta inmediata era que la máquina ideal de Carnot representaba una máquina de movimiento perpetuo. O dicho de otro modo, que cualquier máquina hipotética cuya eficiencia se correspondiera exactamente con la diferencia entre las temperaturas de caldera y radiador podría funcionar eternamente: en teoría, el trabajo que produjera podría reciclarse, no se sabía cómo, para dar calor que a su vez se utilizaría para mover la máquina, que daría trabajo que a su vez se reciclaría en calor, y así sucesivamente y *ad infinitum*.

Sin embargo, y a semejanza de las máquinas de movimiento perpetuo, las máquinas ideales de Carnot eran imposibles de construir (aunque semejante observación intimidatoria nunca ha impedido que los escépticos lo intentaran). Los ingenieros del mundo, fueran británicos o franceses, solo podían construir máquinas *reales* que nunca funcionaban a su potencial teórico completo definido por el principio de Carnot.

Por muy impecablemente diseñadas y perfectamente mantenidas que estuvieran, todas las máquinas reales de vapor estaban salpicadas de ineficiencias de uno u otro tipo. Carnot había descubierto que una de las peores era la provocada por el roce de unas partes de la máquina contra otras. Cosa nada sorprendente habida cuenta de que la fricción (que transformaba la potencia en calor) era la absoluta antagonista del funcionamiento de la máquina de vapor (que transformaba el calor en potencia).

En 1848, mientras Clausius sopesaba todo lo que leía, ya empezaba a tener pensamientos fantasiosos sobre el destino del universo: los científicos creían que envejecía porque el calor que fluía en su interior experimentaba diversos tipos de cambio irreversible.

Clausius pensaba: de acuerdo, pero ¿qué pasaría si pudiéramos desplegar por todo el cosmos unas máquinas que forzaran al calor a revertir a su comportamiento natural… unos refrigeradores, por ejemplo, que forzaran al calor a fluir de lo frío a lo caliente? ¿No seríamos capaces, de ese modo, de invertir el proceso cósmico de envejecimiento? Como mínimo, reflexionaba, ¿no seríamos capaces de *detenerlo* de modo que el universo siguiera teniendo siempre la misma edad?

Claro que sabía que esa posibilidad era muy remota; no podríamos producir suficientes máquinas para hacer cosa semejante. Pero ¿qué pasaría si ya hubiera máquinas hechas por otros o máquinas naturales hechas por la propia naturaleza? En tal caso, Isaac Newton y sus contemporáneos habrían estado en lo cierto después de todo: el universo sería una máquina gigante de movimiento perpetuo mantenida viva eternamente por máquinas que, a la fuerza, invertían el envejecimiento originado por el comportamiento naturalmente irreversible del calor.

Todas estas cuestiones dejaban exhausto al joven Clausius pero también le hacían sentirse bien vivo, tal y como uno se siente después de un rato de ejercicio físico extenuante. Por encima de todo, esas cuestiones le estimulaban a tomar una decisión irrevocable: quería ser la primera persona que descubriera las respuestas.

VIDI

Los científicos han estudiado siempre el asunto del calor como si la vida les fuera en ello, y no es ninguna exageración: su vida, y la vida *de todos*, dependen del calor. Como Aristóteles observó en una ocasión, el calor es «la fuente de vida y de todas sus capacidades… de la nutrición, de la sensación, del movimiento y del pensamiento».

Aristóteles, como antes Hipócrates y como después Galeno, creía que el calor corporal surgía de un fuego inescrutable que ardía en nuestro interior en algún punto del ventrículo izquierdo del corazón. Según los viviseccionistas, allí era donde la sangre tenía un color rojo más intenso lo que parecía indicarles que estaba más caliente.

Dos mil años después, en 1833, un astrónomo británico llamado John Herschel conjeturó que el calor hacía vivir todas las formas de vida de este planeta y no solo a los humanos. Los experimentos subsiguientes le demostraron que estaba en lo cierto aunque también demostraron que el vivificante calor no procedía del interior de los seres vivos sino del Sol: 17.000 billones de kilovatios-hora ¡por día!

Ese tremendo desprendimiento de calor era lo que alimentaba a las plantas de la tierra, convirtiendo sus hojas (a modo de diminutos paneles solares) la luz solar en biomasa y movimiento físico. Las plantas a su vez sustentaban a los animales cuya miríada de actividades llevaban el hálito de la vida a los rincones más apartados del planeta.

Herschel aventuraba que el calor solar infundía vida incluso en los fenómenos *inanimados*. Por ejemplo, cuando se calentaba aire o agua, se elevaban y producían corrientes. Estas corrientes, según la conclusión de Herschel, eran lo que en último extremo producía el tiempo atmosférico tan vivo y a menudo tan violento que era característico de la Tierra.

Siempre habíamos temido al tiempo porque podía ser agente de la muerte humana y de la destrucción. Pero el argumento de Herschel nos hacía comprender que los llamados desastres naturales (huracanes, tornados e inundaciones) eran las *señales de vitalidad* de la Tierra, pruebas bienvenidas de que nuestro planeta estaba vivo y con buena salud.

En último extremo, todo ello sugería una metáfora bastante sorprendente para el mundo natural: el Sol era como la caldera de una gigantesca máquina de vapor que producía el calor que alimentaba a la Tierra y a todo lo que había sobre ella. Mientras la caldera siguiera caliente, todas las máquinas a las que alimentaba (desde los seres humanos hasta los molinos de viento) nunca se quedarían sin vapor.

Los científicos razonaban por extrapolación que se podía esperar que hubiera otros soles que alimentaran a otros mundos de manera similar. Concluían por ello que todas y cada una de las partes del universo (macroscópico o microscópico, animado o inanimado) podía concebirse como si estuviera alimentada por una especie de máquina de calor.

No era sorprendente que esta idea de la importancia del calor llevara a muchos científicos a creer que con solo comprender su comportamiento irreversible, podrían entender finalmente el irreversible carácter de la vida misma. Sin embargo, en el tiempo transcurrido de Aristóteles a Herschel los científicos habían concebido y descartado cuatro teorías diferentes sobre el calor antes de comprenderlo adecuadamente y aun así había ciertas preguntas sobre el calor y la vida que seguían sin respuesta hasta ese momento.

En un principio, el reto principal fue averiguar cómo *medir* el calor. Lo cual llevó a los antiguos griegos a hacer su primera conjetura, la teoría del calor número 1: «El calor es lo que produce la sensación de calor». Eso era todo: una teoría bastante trivial.

Y errónea asimismo, incapaz de explicar incluso este sencillísimo y paradójico experimento: si una persona colocaba su mano derecha en agua fría, sentiría frío; si ponía la izquierda en agua caliente, notaría calor. Hasta ahí ninguna sorpresa. Pero si luego ponía las dos manos en agua tibia, entonces y de manera invariable la mano derecha (hasta entonces fría) sentiría calor y la izquierda (hasta entonces caliente) sentiría frío.

Esta incoherencia ilustraba algún fallo inadmisible en la teoría del calor número 1. En consecuencia, los científicos se vieron obligados a admitir que el calor *no* era lo que producía la sensación de calor: era el *flujo* de calor. Lo cual llevó a la teoría del calor número 2: «Siempre que el calor *fluye hacia* nuestros cuerpos produce sensación de calor; siempre que el calor *fluye desde* nuestros cuerpos produce sensación de frío».

Esta nueva teoría, junto con la antiquísima observación de que el calor fluye naturalmente de lo caliente a lo frío bastaba para explicar el experimento paradójico. En ese caso, el calor del agua tibia *fluía hacia* la mano fría, haciéndola sentir calor; a la inversa, el calor *fluía desde* la mano caliente hacia el agua tibia, haciéndola sentir frío.

Lo cual explicaba asimismo el fenómeno conocido como *desnudo paradójico*. Cuando una persona caía en agua fría, su cuerpo respondía inmediatamente llevando el calor de la capa más externa de la piel hacia los órganos vitales, en un esfuerzo supremo por mantenerlos en funcionamiento. Por ello, la capa más externa de la piel iba quedándose gradualmente más fría hasta el punto de que llegaba a estar más fría que el agua que la rodeaba.

En ese momento, y como el calor fluía de manera natural de lo caliente a lo frío, una pequeña fracción de calor comenzaba a fluir desde el agua fría a la capa más externa de la piel, lo cual producía una sensación de calor que hacía que la víctima se arrancara la ropa ¡acelerando su propia muerte!

La teoría del calor número 2 sirvió tan bien a los científicos que no tuvo rival hasta el año 1592. Ese año, el famoso científico italiano Galileo Galilei inventó el termómetro o, como él lo llamó, el *termoscopio*.

El artefacto era poco manejable: «Una vasija de vidrio del tamaño de un huevo de gallina, acoplada a un tubo del ancho de una paja y de unos dos palmos» como lo describió su ayudante. Era, en efecto, una botella de cuello largo que Galileo había vuelto boca abajo colocando la boca dentro de un cuenco de agua. «Este instrumento —relataba el ayudante—, lo utilizaba para investigar grados de frío y de calor».

Los días fríos, el aire del interior de la botella se contraía originando una leve succión que hacía subir el agua por el cuello de la botella. La altura de la columna era una medida grosera del frío que hacía fuera de la botella: a menor temperatura, más alta la columna.

El termoscopio era, retrospectivamente, un termómetro invertido. Pero para los científicos de la época, aquel desgarbado aparatejo representaba un modo progresista de medir el efecto del calor y la base de una nueva teoría. A saber, la teoría del calor número 3: «El calor es lo que origina que la columna de un termómetro cambie de altura».

Las teorías del calor números 1 y 2 se habían basado en la poco fiable e impredecible sensación *humana* de calor. Por el contrario, esta nueva teoría era puramente *objetiva*: el aire y casi todos los demás fluidos se expandían al calentarse en una medida suficientemente precisa como para que los científicos la midieran con una regla.

El agua era una de las pocas excepciones; cosa rara, se expandía al *enfriarse*. Y ciertamente, este peculiar comportamiento era la principal razón para dudar de que una persona congelada inmediatamente después de su muerte pudiera volver a la vida algún día: al congelarse, el agua de las células del cuerpo se expandía, haciendo estallar las paredes celulares sin posibilidad de recuperación.

Aparte de esta excepción, sin embargo, los científicos del siglo XVII se sintieron emocionados ante el grosero termoscopio de Galileo y se afanaron por perfeccionarlo. En lugar de fiarse de la contracción y la expansión del aire, que resultó ser un tanto veleidosa, construyeron termómetros de alcohol. El principal problema era que todo el mundo empleaba escalas diferentes para la medida de sus instrumentos y no había manera de ponerse de acuerdo.

Por ejemplo, un grupo de científicos florentinos, bajo la dirección del gran duque Fernando II utilizaba una escala cuyas marcas superior e inferior correspondían a los días más cálidos y más fríos del año toscano, respectivamente. Para no ser menos, los franceses, que siempre han tenido mentalidad gastronómica, utilizaban escalas cuya marca superior correspondía a la temperatura en que se fundía la mantequilla y cuya marca inferior correspondía a la temperatura de una bodega de París.

El primer termómetro normalizado no se inventó hasta 1714. Ese año, un físico alemán poco conocido llamado Daniel Gabriel Fahrenheit inventó un instrumento que utilizaba mercurio en el interior de un bulbo diminuto de vidrio con un larguísimo cuello sellado. Al calentarse, el mercurio rebosaba del bulbo y ascendía por el capilar una distancia proporcional al calor que se le aplicaba.

Fahrenheit había elegido el mercurio porque se expandía de manera uniforme cuando se le exponía a temperaturas que variaban entre *menos* 40 y *más* 626 grados: un margen asombroso. Sin embargo, y desgraciadamente, la marca cero de este termómetro se correspondía a la temperatura de congelación del agua *salada*, lo cual significaba que el punto de congelación del agua *pura* estaba en el 32 de esa escala y el de ebullición del agua pura en el 212.

Hubo quejas de que tales números eran excesivamente complicados de modo que en 1742, un astrónomo sueco llamado Anders Celsius diseñó una escala de temperaturas más sencilla cuyo 0 se correspondía con el punto de ebullición del agua y cuyo 100 se correspondía con el punto de congelación del agua. Ante las objeciones, Celsius cambió un número por otro, invirtiéndolos.

En los años siguientes, gente de todo tipo y condición encontró múltiples usos a aquellos fabulosos nuevos artefactos. Los granjeros podían controlar la temperatura de los animales y de los huevos en incubación, por ejemplo, mientras que los meteorólogos podían controlar la temperatura del aire. Como consecuencia, se fundaron por todo el mundo servicios meteorológicos regionales y nacionales, cada uno de los cuales comenzó a recopilar los registros termométricos valiosísimos que los

científicos de todo el mundo usarían más adelante para desarrollar sus apocalípticas teorías sobre el cambio climático y el calentamiento del globo.

También los médicos del siglo XVIII comenzaron a utilizar los termómetros aunque los instrumentos eran todavía bastante engorrosos. Lo normal era que a los pacientes se les pidiera que echaran aliento sobre el termómetro o lo sostuvieran en la mano y solía hacer falta una buena hora para dar una lectura medianamente fiable. (Hasta 1866 no inventaría el médico británico Thomas Clifford Allbutt el pequeño termómetro clínico con el que estamos tan familiarizados).

Sin embargo, y pese a los inconvenientes de estos primeros termómetros, estos artilugios proporcionaron a los científicos una ocasión sin precedentes de medir la intensidad del fabuloso fuego humano, la fuente de la vida. Para su sorpresa y emoción descubrieron que el fuego era imperturbable: en cualquier estación, con cualquier tiempo que hiciera, el interior del cuerpo humano parecía mantenerse firmemente en torno a los 96 grados Fahrenheit o los 35,5 grados Celsius (estimación revisada al alza posteriormente).

También aguardaban a los científicos otras sorpresas y no todas agradables. De hecho, una de esas revelaciones inesperadas iba a echar un jarro de agua fría sobre su querida y nueva teoría del calor.

El malo de la historia, por así decir, fue un químico escocés llamado Joseph Black que trabajaba en la Universidad de Glasgow. A finales de la década de 1750, Black hizo algo en apariencia inocuo: calentó cantidades iguales de mercurio y de agua en un horno y luego comprobó sus respectivas temperaturas. Para su asombro, el mercurio estaba mucho más caliente que el agua. Y se preguntó ¿cómo podían tener diferentes temperaturas cuando ambos se calentaban en el mismo horno y durante el mismo período de tiempo?

Cualquiera que se haya escaldado la lengua dando un mordisco a un trozo de tarta de manzana recién cocida podría preguntarse lo mismo. De forma invariable, el relleno está siempre más caliente que la masa aunque los dos se han calentado en el mismo horno.

Ese mismo fenómeno se experimenta corrientemente en la playa en los días en que, aunque la arena está excesivamente caliente para ir con los pies descalzos y el agua excesivamente fría para el baño, el aire está a la temperatura justa para tumbarse sobre una toalla. Arena, agua y aire tienen diferentes temperaturas aunque están bajo el mismo sol.

Después de pensarlo un poco, Black llegó a la conclusión de que el calor viajaba en forma de fluido sin peso, invisible e indestructible. Y a juzgar por su propio experimento del horno le parecía que los distintos objetos tenían diferentes capacidades de absorción y de retención del fluido térmico, al igual que las distintas personas tienen diferentes capacidades para beber y retener alcohol.

La conducta de alguien con una gran capacidad alcohólica (por así decir, alguien que puede «retener» el alcohol) cambia muy poco incluso después de haber bebido mucho. Black conjeturaba que, de forma análoga, la *temperatura* de cualquier material que tuviera una gran «capacidad calorífica» cambiaba muy poco incluso después de absorber grandes cantidades de fluido térmico.

Y a la inversa, la conducta de alguien con una pequeña capacidad alcohólica cambia drásticamente (y la mayor parte de las veces, de manera «inconveniente») incluso después de una sola copa. Por el mismo motivo, la temperatura de cualquier material que tuviera una pequeña capacidad calorífica se elevaba mucho incluso si solo se le exponía a una pequeña cantidad de calor.

Ese mismo análisis se aplicaba a la tarta y a la playa. El relleno de manzana y la arena eran materiales con muy pequeña capacidad calorífica: no hacía falta mucho calor para que se elevara su temperatura. En el extremo opuesto, la masa de la tarta y el aire tenían inmensas capacidades

caloríficas: se mantenían frescos incluso en el entorno más caliente. El agua, la eterna excepción, estaba en un punto intermedio.

Por fascinante que fuera, el pequeño e inocente experimento de Black tenía consecuencias desastrosas para los termómetros. Si cantidades idénticas de calor podían producir lecturas de temperatura completamente diferentes en distintos materiales, entonces los termómetros ya no podían ser medidas infalibles del calor. Así de sencillo y de fastidioso: era el fin de la teoría del calor número 3.

Suficiente para que hasta el científico de vida más irreprochable pensara en salir a coger una buena cogorza. Sin embargo, en lugar de eso, Black y otros científicos de su tiempo decidieron cerrar filas rápidamente y crear una teoría más, esta vez basada en la idea de Black sobre el fluido térmico, al que desde entonces se denominó *calórico*, a partir del latín *calor*. He aquí la teoría del calor número 4: «El calor consiste en un fluido calórico que es invisible, sin peso e indestructible».

En poquísimo tiempo, los científicos se mostraron muy partidarios de esta teoría porque parecía explicar muchas cosas, incluyendo las sencillas. Por ejemplo, imaginaban que un material se *expandía* al calentarse porque se hinchaba al absorber fluido calórico, como se hincha una esponja al absorber agua.

También ahí había una explicación de por qué los objetos se calentaban cuando se frotaban unos con otros, origen principal de la ineficiencia en el funcionamiento de las máquinas de vapor. Los científicos imaginaron entonces que el frotamiento liberaba fluido calórico que se había albergado en los objetos, al igual que el polvo salía de un abrigo viejo cuando se lo cepillaba enérgicamente.

Unas décadas después, Sadi Carnot se haría partidario de esta teoría. De hecho, la imagen de un fluido calórico se encuentra en el corazón mismo de su famosa comparación de las máquinas de calor con las ruedas de molino, que le inspiró la afirmación de que «podemos comparar justamente la potencia motriz del calor con la de un salto de agua».

Sin embargo, con esa nueva teoría, se presentaba un gran problema: ¿Cómo se suponía que iban a detectar los científicos ese fluido que era invisible y sin peso? Y ahí nuevamente Joseph Black se aseguró un puesto en la historia inventando una cosa llamada medidor calórico (¿es que podía ser de otro modo?) o, abreviadamente, *calorímetro*.

En esencia, el dispositivo de Black consistía en una botella bien aislada y en cuya tapa iba insertado un termómetro. Cuando se incineraban dentro de la botella, los materiales cedían todo su calor, todo su fluido calórico al aire del interior, y el incremento resultante de temperatura se medía directamente por medio del termómetro.

¿Cómo se podía estar seguro de que la lectura del termómetro era una medida auténtica del calor liberado, teniendo en cuenta que los termómetros acababan de quedar desacreditados? Pues porque el termómetro, en este caso, siempre medía el calor cedido al *aire* del interior que siempre reaccionaba de la misma manera a la misma cantidad de calor: una unidad de calor provocaba cierta lectura de la temperatura, dos veces esa medida de calor duplicaban la lectura, y así sucesivamente.

El calorímetro de Black era un dispositivo pequeño y sumamente ingenioso y no tardó en ser adoptado por los científicos con la misma avidez con la que adoptaron en su momento el termómetro de Galileo. Sin embargo, en esta ocasión se sintieron seguros de que estaban en el camino adecuado: esta vez su teoría iba «a soportar el calor».

Cosa sorprendente, durante todo un siglo experimento tras experimento confirmó su optimismo. El más espectacular de todos ellos aconteció en 1775 cuando el famoso químico francés Antoine

Lavoisier utilizó un calorímetro para averiguar cómo era capaz la misteriosa fuente de calor de mantener una temperatura constante dentro del cuerpo humano.

Para entonces, los científicos ya habían sustituido hacía mucho la creencia de Aristóteles en un *fuego inextinguible* por algunas explicaciones que eran considerablemente más prosaicas y jocosamente irreverentes. Un médico escocés, John Stevenson, había conjeturado que el calor del cuerpo era el resultado de que nuestro cuerpo *descompusiera* la comida que ingeríamos. Stevenson había llegado a la conclusión de que «el cuerpo del hombre, del que se muestra tan orgulloso, es poco más que un estercolero humeante».

Hasta Benjamin Franklin propuso una teoría. «Imagino que el calor animal surge por una especie de fermentación de los jugos del cuerpo o a partir de ella —había escrito aquel gran científico y político—, de la misma manera que surge en los licores que se preparan para la destilación».

Siendo como era un investigador sobrio, Franklin había tenido buen cuidado de comprobar su hipótesis. «El alcohol en una cuba —había descubierto— tiene casi el mismo grado de calor que el cuerpo humano, es decir, unos 34,5 o 35,5 grados».

En una serie de experimentos importantísimos con el calorímetro, Lavoisier comparó el calor producido al quemar carbón vegetal pulverizado con el calor del cuerpo producido naturalmente por pájaros y cobayas. (Menos mal que no incineró a las pobres criaturas: se limitó a encerrarlas en el calorímetro). También controló la cantidad de aire consumida por cada una de ellas y observó los gases exhalados.

Gramo a gramo, Lavoisier descubrió que tanto los animales como el carbón quemado consumían cantidades idénticas de aire y proporcionaban cantidades idénticas de calor. ¿Era una mera coincidencia? No, concluyó, debía significar que los seres animados producían su calor del mismo modo que los objetos inanimados cuando se quemaban: es decir, mediante una sencilla combustión química.

De la manera más tosca, Lavoisier había validado la afirmación de Aristóteles de hacía dos mil años: la fuente de la vida era, ciertamente, una especie de fuego. Pero si se tratara verdaderamente del resultado de una combustión corriente, razonó Lavoisier, entonces el fuego de la vida no podía mantenerse a sí mismo; como cualquier hoguera habría que *alimentarla* constantemente, siendo el combustible los alimentos que ingerimos. Y también necesitaría *aire*, que tiene un suministro constante en nuestra respiración. Por ello, para el científico y aristócrata francés, la cámara de combustión del cuerpo probablemente no estaba situada en el corazón sino en los *pulmones*.

Durante su crecimiento, una zanahoria de tamaño medio absorbía unas 20.000 calorías procedentes del sol. (Los nutricionistas actuales prefieren emplear las Calorías, con C mayúscula, cada una de las cuales equivale a 1.000 calorías). Lavoisier imaginaba que cuando alguien consumiera esa zanahoria, todo ese calor, todo aquel fluido calórico se liberaba en el proceso de combustión que se daba en la persona. Así era cómo el cuerpo mantenía su temperatura constante, y cómo nos manteníamos vivos los humanos.

Con semejantes explicaciones triunfalistas, la teoría calórica y el calorímetro siguieron prosperando durante el siglo XIX. Pero en 1814, nació en Baviera, el segundo reino alemán en tamaño por detrás de Prusia, Julius Robert Mayer. Aunque su vida iba a ser desgraciadamente trágica, sus ideas iban a contribuir a que Rudolf Clausius desechara en su día la teoría del calor número 4.

De joven, Mayer se vio expuesto a dos formas completamente antagónicas de ver el mundo. Como estudiante de instituto en un seminario teológico evangelista, se le dio la impresión de que la ciencia

no tenía todas las respuestas. Sin embargo, más tarde, en la escuela de medicina, se le dio la impresión de que la *religión* no tenía todas las respuestas.

Después de sus estudios, Mayer no quedó en absoluto satisfecho por ninguna de las dos tradiciones, lo que quería decir que tampoco ninguna de ellas había quedado muy satisfecha de él. Cosa que quedó bien demostrada cuando Mayer anunció su teoría de cómo se originó el mundo; a su imagen y semejanza, la teoría era un curioso (algunos la calificaron de escandaloso) revoltillo de ciencia y religión.

Mayer imaginaba que, en un principio, el universo había empezado a existir mediante una fuerza única e inexpresablemente enorme a la que llamó *Ursache*, que en alemán quiere decir «causa». A partir de ahí la *Ursache* se había escindido en diversas *kräfte* («fuerzas») más pequeñas, cada una de las cuales guiaba en la actualidad cierto aspecto del universo, fuera eléctrico, químico, térmico, y así sucesivamente.

Mayer se apartó de los teólogos por su falta de referencia a Dios, y de los científicos por su referencia a la sobrenatural *Ursache*. Por ello no resultó sorprendente que a Mayer se le rechazara cuando intentó publicar su teoría en los *Annalen der Physik und Chemie* (Anales de física y química), una de las revistas científicas más prestigiosas de toda Europa.

De ahí en adelante, incluso aunque las explicaciones de Mayer fueran más convencionales, su reputación como marginado supuso un prejuicio para la recepción que sus pares hacían de su trabajo. Nunca fue más evidente la situación que en el invierno de 1840 cuando el doctor Mayer aceptó ir de médico a bordo de un mercante holandés que iba desde Rotterdam a Surabaya, en la isla de Java.

Al igual que la mayoría de los médicos del siglo XIX, Mayer trataba a sus pacientes haciéndoles sangrías, basándose en la teoría de que lo que causaba la enfermedad del cuerpo era un exceso de sangre. En un principio, Mayer no notó nada anormal en la sangre que extraía a los marineros. Pero cuando el barco se fue acercando a los trópicos, la sangre se fue volviendo más roja.

Concluyó que tal fenómeno era una inesperada confirmación de la popular teoría calórica y de las ideas de Lavoisier acerca de la combustión biológica. Razonó que en Holanda el tiempo frío obligaba a los cuerpos de los marineros a generar mucho calor para mantenerlos calientes. Sin embargo, en aquel clima cada vez más cálido, el mecanismo de combustión corporal podía ralentizarse. Por ello se quemaba menos cantidad del aire que inhalaban los marineros y había más aire que sencillamente entraba en la sangre dándole un color más rojo.

De haberlo anunciado cualquier otro, este sorprendente descubrimiento habría sido aclamado por los partidarios de la teoría del calor. Pero al proceder de aquel joven bávaro iconoclasta, aquella elegante explicación se publicó recibiendo una reacción y una valoración escasísimas por parte de sus pares.

Descorazonado pero sin dejarse vencer, Mayer se hizo todavía más daño al incorporar su muy creíble explicación del enrojecimiento de la sangre de los marineros al contexto general de su muy increíble teoría de la *Ursache*. Aquella hibridación produjo una visión quimérica del mundo que horrorizó a los espíritus de su época.

Según Mayer, una inmensa fuerza seminal que se había escindido en muchas fuerzas menores seguía troceándose en la época actual. Por ejemplo, la fuerza del Sol se bifurcaba en una fuerza luminosa (la luz) y otra térmica (el calor), siendo ambas transformadas por las plantas en una fuerza química (el alimento) que a su vez la multiplicaban de muchísimas formas los seres vivos que la consumían.

Parte de esa fuerza química se convertía en fuerza térmica (calor corporal) mediante las cámaras de combustión interna de las criaturas y otra parte en fuerza mecánica (movimiento corporal) por medio de los músculos. También había una parte de la fuerza química que se convertía por las cajas acústicas de las criaturas en fuerza acústica (sonidos) y en fuerza eléctrica (impulsos neurales) por medio de sus cerebros.

¿Conclusión final y grandiosa de Mayer? Que las cantidades de todas esas fuerzas subordinadas de hoy (luminosas, térmicas, químicas y otras sin nombre todavía) equivalían exactamente a la original *Ursache* de la cual habían surgido todas. O dicho de otro modo, aunque las cosas parecían cambiar incesantemente *la cantidad total de fuerza* en el universo era una de las grandes constantes de la vida: nunca había cambiado y nunca cambiaría.

Era como decir que la riqueza total de un buhonero permanecía inalterable por mucho que el número de sus pertenencias fuera incrementándose paulatinamente. Podía darse, siempre que la riqueza se fuera troceando en un número cada vez mayor de objetos cada vez más baratos.

Con el paso de los años, en manos de Clausius y de otros científicos, estas fantásticas aseveraciones de Mayer llegarían a convertirse en una de las teorías más sagradas de toda la ciencia. Pero era el año 1842 y aunque el joven doctor Mayer se las compuso para publicarla en una revista respetable, *Annalen der Chemie* (Anales de química), su teoría del mundo natural fue ampliamente despreciada.

La mayoría de sus colegas la rechazaron basándose solamente en su prevención hacia la fama de idear cosas raras que tenía el autor. Los pocos que se dignaron ponderar la teoría la rechazaron por hablar de una fuerza térmica que *se transformaba* en otras fuerzas (es decir, la fuerza térmica del Sol que se transformaba en fuerza química en las plantas). Según la teoría calórica, el calor (se le llamara fuerza o fluido o lo que fuera) no podía transformarse; es decir, no podía destruirse para luego reencarnarse en otra cosa distinta. El calor, entonaban los discípulos del calórico, era *indestructible*.

En los años sucesivos empeoró la desesperada situación de Mayer. Como la mayoría de los científicos no había leído siquiera su artículo, no fueron capaces de concederle crédito ni siquiera cuando empezaron a publicar teorías que se parecían a la suya. Por ejemplo, en 1847, el gran Hermann Ludwig von Helmholtz, un colega alemán, publicó *Über die Erhaltung der Kraft* (Sobre la conservación de la fuerza). Fue recibida como una obra brillante, y sugería que las cantidades combinadas de todas las fuerzas naturales del universo nunca cambiaban: sin embargo ¡no se mencionaba ni una sola vez el nombre de Mayer!

Ya para entonces Mayer estaba en el mismísimo umbral de una crisis nerviosa y los médicos le amenazaban con internarle en un sanatorio para enfermos mentales. Los temores de Mayer se incrementaron aún más cuando le detuvieron los sublevados en la revolución de 1848, un paroxismo violento del nacionalismo alemán. Le soltaron al poco, pero dos años después finalmente se sintió abatido por la frustración y la alienación de su atormentada vida: una noche, incapaz de dormir, aquel paria de treinta y seis años se levantó de la cama y se tiró por la ventana de su casa, en un segundo piso.

Para disgusto suyo, no consiguió matarse; Mayer seguía vivo, pero ¿por qué? Mientras sus colegas seguían intentando comprender la *fuente* de la vida, en ese momento más que nunca él solo anhelaba comprender el *sentido* de la vida. Maldijo al destino por sus continuos sufrimientos sin darse cuenta de que en aquel año, el más trágico de su descontento, sus ideas (y su vida) estaban a punto de ver su sentido gracias a un joven médico prusiano que iba a llegar por fin al corazón del calor.

VICI

En Berlín, en 1848, Rudolf Julius Emmanuel Clausius llevaba vidas tan dispares como nombres tenía. Era profesor de instituto al que se apreciaba por su simpatía y su lucidez. Era un estudiante graduado, reflexivo y concentrado, que estaba a pocos meses de obtener el doctorado. Y era una especie de madre suplente cariñosa para sus cuatro hermanos menores.

Lo único que le faltaba era una esposa. Amigos y vecinos comentaban constantemente sus posibilidades como soltero, pero el joven de veintiséis años siempre hacía remilgos explicando que aun deseándolo no tenía ni tiempo ni dinero para formar una familia propia.

De momento, Clausius estaba desposado con sus estudios. Verdaderamente la única perspectiva emocionante que tenía en mente era completar su tesis y encontrar un trabajo que le diera un salario decente y que tuviera algo que ver, ¡lo que fuera!, con el calor. Hacía bien poco que la teoría calórica se había cuestionado y el joven Clausius estaba ansioso de tomar parte en aquella emocionante controversia.

Buena parte de esta se centraba en la obra de un científico aficionado llamado James Joule. Hijo de un cervecero acomodado, Joule había crecido en Manchester (Inglaterra) encantado por los notabilísimos descubrimientos del científico inglés Michael Faraday en relación con la electricidad y el magnetismo. (*Véase* «Cuestión de clase»).

El propio Joule había efectuado hacía poco un notable descubrimiento: la electricidad corriente siempre calentaba el alambre por el que fluía y, en ese proceso, perdía parte de su fuerza. Un siglo después, todo el mundo estaría acostumbrado a que se calentaran sus aparatos eléctricos, sobre todo los tostadores, los televisores y las bombillas. Pero en la época de Clausius nadie estaba seguro de qué quería decir aquello.

Por no citar más que uno: el influyente científico irlandés William Thomson arguyó públicamente que Joule seguramente no había observado más que un extraordinario ejemplo de fricción: la electricidad se abría paso a lo largo del cable rozándose con él y produciendo calor al tiempo que perdía parte de su propia fuerza; Thomson recordó a todos que era un fenómeno bien conocido y que ya había sido explicado hacía mucho por la teoría calórica.

Declaraciones públicas aparte, Thomson había empezado a tener en privado serias dudas acerca de tan encomiada teoría del calor. Pero temía las consecuencias de hacerlas públicas, advirtiendo que si los científicos dejaban de creer en la indestructibilidad del calor «nos enfrentamos a otras innumerables dificultades… además de tener que reconstruir por entero la teoría del calor desde sus fundamentos».

Había demasiadas cosas que se basaban ya en la teoría calórica como para abandonarla, entre ellas el principio de Carnot, que estaba firmemente apoyado en el concepto de fluido calórico. Los científicos y los constructores de máquinas de vapor eran partidarios decididos del principio de Carnot; de manera que Thomson abominaba de la idea de verlo desacreditado por el descubrimiento de Joule. Por tal motivo, en un artículo publicado en 1849, el irlandés confesaba tenazmente: «En lo que sigue, me referiré al principio de Carnot como si su certeza estuviera absolutamente establecida».

Para que las cosas fueran más estimulantes para el joven Clausius el debate sobre la teoría del calor número 4 se había transformado en un debate político desde «aquel incidente» de 1848. En aquel año, un agraviado Mayer había escrito a Joule una carta en términos contundentes, acusándole de llevarse todo el crédito de haber encontrado un posible fallo en la teoría calórica. Al poco, aquel

intercambio personal un tanto rencoroso se había convertido en una disputa nacionalista con todas las de la ley entre los científicos británicos y alemanes.

El propio Clausius no estaba todavía decidido sobre la teoría calórica, pero enseguida se alineó con las quejas de su colega alemán contra el hijo del cervecero inglés. Como argumentaría Clausius en años siguientes, Mayer había publicado sus ideas contra la teoría calórica *antes* que Joule y, en ciencia, las fechas de publicación eran las que establecían el orden de prioridad.

En cierto sentido, Clausius reaccionaba como el meticuloso científico en el que se había convertido, rigorista en cuanto a la precisión y el protocolo. Pero en otros sentidos, el joven reaccionaba como un prusiano consumado, ferozmente leal a la causa de la reunificación alemana.

Doce siglos antes, los francos habían unido las tierras germánicas en algo que se parecía a un imperio. Pero su maravillosa creación había caído bajo el yugo del Sacro Imperio Romano que luego había quedado debilitado por la Reforma hasta que, finalmente, a principios de siglo había sido derrotado por los franceses.

Los pueblos alemanes componían una vaga confederación de naciones-estado, un reflejo descompuesto del poderoso imperio que fueran. Y lo que era peor, cosa que lamentaba amargamente Clausius, la propia Prusia, aun siendo el más poderoso de los reinos alemanes, era poco más que un vasallo de Francia.

La revolución de 1848 había conseguido atraer la atención sobre el anhelo de los alemanes por la unidad, pero ya había algunos indicios de que por ahí no se iba a ninguna parte. Se había formado un Parlamento en Frankfurt, pero el rey Federico Guillermo IV de Prusia acababa de negarle el derecho de ofrecerle una corona imperial.

Al reflexionar sobre la triste situación del pueblo alemán, a Clausius le consolaba la idea de que estaba a punto de unirse a la comunidad mundial de los científicos. No es que fueran un pueblo perfectamente unificado, como lo probaba el rifirrafe entre Joule y Mayer pero por lo menos libraban sus batallas con palabras y números, no con espadas y balas.

En la primavera de 1848, al joven Clausius se le concedió el doctorado en ciencias. Por pura necesidad económica había seguido con su empleo de enseñanza en el instituto pero esperaba que las cosas le fueran bien para casarse pronto y tener hijos.

De momento, comenzó a darle vueltas a todo lo que había leído sobre el calor. Por fin, se había terminado la época de ver las cosas desde la barrera y limitarse a informarse sobre las teorías de los demás.

El recién bautizado científico quería crear una teoría propia pero ¿por dónde empezar? Cuando de chico le enseñaron geología Clausius aprendió que ciencia y religión no siempre se llevan bien. Desgraciadamente, según su opinión, la teoría calórica se había convertido ya más en una religión que en una ciencia, con algunos discípulos vacilantes como William Thomson que intentaban por todos los medios no perder la fe. Y él insistía en que los científicos tenían que apoyarse en los hechos y no en la fe.

En los rigurosos experimentos de Joule vio la base *fáctica* y en las conjeturas extravagantes de Mayer la base *filosófica* de un modo de pensar en el calor completamente nuevo. Lo único que hacía falta era entretejerlas, trama y urdimbre, en el telar de las matemáticas. El joven científico imaginaba que la tarea no le llevaría mucho tiempo pero se equivocaba: al final le costó *dieciocho* años crear lo que sería el primer tapiz intelectual de su vida, y el mejor de todos ellos.

Comenzó su monumental esfuerzo en 1850 publicando un larguísimo artículo con un larguísimo

título: «Sobre la fuerza motriz del calor y sobre las leyes que pueden deducirse de ella para una teoría del calor». Clausius planteaba la teoría de que calor y trabajo no eran sino dos variantes de un mismo fenómeno que luego se llamó *energía* (nombre sugerido por el dubitativo Thomson). Dicho de otro modo, calor y trabajo eran fundamentalmente lo mismo, pudiendo intercambiarse una unidad de trabajo por una unidad de calor sin que eso afectara al total de la energía del universo.

Era como si Clausius sugiriera que piedras y personas no eran sino dos variantes de un mismo fenómeno llamado materia. Según esta manera de pensar, las piedras y las personas eran esencialmente lo mismo y se podía intercambiar un peso de piedras por otro igual de carne sin que ello afectara al peso total del universo.

No se detenía ahí. Así como había muchas otras variantes de materia, como cuero, madera, metal y demás, había muchas variantes de ese fenómeno esencial llamado energía. Además del calor (energía térmica) y del trabajo (energía mecánica) había energía solar, energía eléctrica y energía acústica, por mencionar solo unas pocas.

Según Clausius, en el enigmático experimento de Joule, la energía eléctrica se transformaba en energía térmica; es decir, mientras el cable se calentaba, la electricidad que fluía se reducía con una reciprocidad exacta. De modo más general, una unidad de *cualquier* tipo de energía podía transformarse en otra unidad de *cualquier otro tipo* de energía… sin afectar a la energía total del universo.

Este novedoso concepto llegó a denominarse Ley de la Conservación de la Energía, según la cual la energía no puede crearse o destruirse sino solo transformarse de un tipo en otro. La energía total del universo era una constante auténtica de la vida, según la conclusión a la que llegó Clausius; lo único que realmente cambiaba era la *mezcla* de las diferentes clases de energía.

Usando el lenguaje codificado de las matemáticas, la vorágine que se desarrollaba en el cerebro de Clausius podía resumirse en mucho menos espacio del que haría falta para escribirlo en castellano. Si E_{universo} representa la energía total de universo y la letra griega delta mayúscula, Δ, representa el «cambio neto en…», la Ley de la Conservación de la Energía se reducía a esta ecuación matemática:

$$\boldsymbol{\Delta E_{\text{universo}} = 0}$$

Es decir, el cambio neto de la energía total del universo siempre es cero porque la energía total del universo es una constante eterna.

El razonamiento de Clausius significó el final de la teoría calórica porque reconocía que era la *energía* y no el calor el que era un fenómeno indestructible. Aquella idea sin precedentes llevó a la teoría del calor número 5: «El calor no es sino una de las muchas diferentes manifestaciones de la energía, todas las cuales pueden intercambiarse en cualquier momento sin que afecte al total neto de energía en el universo».

Aun molestos de ver que alguien se atrevía a proponer un recambio para su bienamada teoría del calor, a William Thomson y otros científicos, sin embargo, les complacía una cosa. Incluso si se adoptaba aquella nueva teoría, no era necesario abandonar la preciosa regla de Carnot sino tan solo reinterpretarla.

Según el joven Clausius, el principio de Carnot había estado en lo cierto al decir que la producción ideal de una máquina solo estaba determinada por la *diferencia* de temperaturas entre la caldera y el radiador. Pero Carnot no había estado en lo cierto al comparar las máquinas de calor con las norias.

Carnot había imaginado que así como el agua impulsaba una noria, el fluido calórico que movía una máquina de vapor *sobrevivía* al proceso, fluyendo desde la caldera, entrando y saliendo luego en los pistones para terminar finalmente en el radiador: desde ahí, el fluido calórico se reabsorbía en el agua y volvía a la caldera. En otras palabras, según esa metáfora tan pintoresca, el fluido calórico nunca se *consumía* auténticamente en el proceso de transformarse en potencia, sino que sencillamente pasaba por ahí, lo absorbían, lo expulsaban, y así sucesivamente una y otra vez.

En las imágenes y en el vocabulario de la nueva teoría del calor de Clausius (cuyo corazón era la Ley de la Conservación de la Energía) la energía térmica de la caldera quedaba *destruida* y *transformada* en energía mecánica. Tal y como Clausius lo decía: «En todos los casos en los que se produce trabajo por medio del calor, se consume una cantidad de calor que es proporcional al trabajo realizado».

Por ello, todo el calor que llegara hasta el radiador era calor que no se había transformado en trabajo en los pistones… calor que se había colado por las paredes de la máquina y que se había irradiado, inútilmente, al aire circundante. Podría decirse que era calor *malgastado*, explicaba Clausius, calor que no había producido trabajo alguno, como agua que se derramara de la noria sin servir para nada.

Semejante prodigalidad parecía existir en *todas* las máquinas reales, según observó Clausius, desde los molinos de viento hasta los cuerpos humanos. Por ejemplo, del total de la energía eólica que hacía girar un molino de viento, solo se transformaba una parte productivamente en energía mecánica que se utilizaba para bombear agua o para moler grano. La parte restante se transformaba en energía térmica en el roce de los álabes con el aire o del eje con su soporte, calor que terminaba por disiparse inútilmente en el aire.

De forma parecida, del total de energía química (alimento) que servía de combustible al cuerpo humano, solo *una parte* se convertía en beneficiosa energía mecánica utilizada por la persona para subir escaleras o para levantar objetos pesados; inevitablemente, otra parte se malgastaba en subproductos inútiles, excretados por los imperfectos sistemas metabólicos y digestivos del cuerpo.

No había máquina aparentemente capaz de funcionar sin fallos, de convertir el cien por cien de su combustible en trabajo útil. A no ser que se pudiera eliminar la fricción o crear un aislamiento térmico perfecto, daba la impresión de que Carnot había estado en lo cierto: las máquinas reales siempre funcionarían muy por debajo de su potencial ideal, teórico.

Sin embargo, Clausius insistía en que, incluso con aquel derroche inherente a su funcionamiento, las máquinas obedecían a la Ley de la Conservación de la Energía. Por ejemplo, en el caso de una máquina de vapor corriente, que resoplaba por todas partes, la energía térmica total que entraba en la caldera caliente era exactamente igual al trabajo (energía mecánica) producido por los pistones *más* la energía disipada (energía térmica).

Y lo mismo para los molinos de viento y los seres humanos: la energía entrante total equivalía a la saliente, la útil *más* la malgastada. En resumen, todas las miríadas de cambios que se daban en todas las máquinas del universo se correspondían de tal modo que nunca había cambio neto en el total de energía del universo. ¡Siempre era así!

La imaginación juvenil de Clausius había dado una teoría tan radical, sin duda, que había sacado de quicio el estudio del calor. Sin embargo, sus argumentos físicos eran tan precisos, sus matemáticas tan persuasivas, que los científicos no pudieron evitar caer bajo su embrujo.

Por ello, y al cabo de muy poco tiempo, Rudolf Julius Emmanuel Clausius recibía alabanzas por

toda Europa… lo mismo que Joule y el marginado Mayer, cuyas respectivas obras habían inspirado al joven científico. Fue un momento crucial para los tres, pero sobre todo para Mayer que, durante los años siguientes, fue nombrado miembro de la mundialmente famosa Academia de las Ciencias francesa además de concedérsele el prestigioso Prix Poncelet por toda una vida de logros relevantes; cuando Mayer murió a la edad de sesenta y cuatro años, se sentía en paz, habiendo recibido el crédito que tan desesperadamente había buscado siendo un joven atormentado.

Mientras tanto, a Clausius, con veintisiete años, se le honraba con una invitación para enseñar física en la prestigiosa Real Escuela de Artillería e Ingeniería de Berlín. Comenzó su nuevo trabajo en el otoño de 1850 y lo realizó tan bien que en diciembre fue nombrado *Privatdozent* (titular con emolumentos) de la Universidad de Berlín. Ese nuevo cargo le permitió cobrar a los estudiantes que asistían a sus clases una módica cantidad, dándole más esperanzas de poder pronto tener suficiente dinero para casarse y formar una familia.

Además, en 1851, el tenaz William Thomson decidió finalmente retractarse de su creencia pública en la teoría calórica y apoyar la teoría del calor número 5. Reconoció sus méritos al «señor Joule, de Manchester, que expresa muy claramente las consecuencias… que se siguen del hecho de que el calor no sea una sustancia». Hasta se dignó a tocarse el sombrero ante el extranjero Mayer cuyo artículo de 1842, según admisión del propio Thomson, «contiene algunos enfoques correctos en relación con la convertibilidad mutua del calor y del efecto mecánico».

Thomson rindió asimismo un bien merecido homenaje al joven Clausius quien «mediante razonamiento matemático… ha llegado a ciertas conclusiones notables». Pero el británico se quedó corto en su reconocimiento al prusiano por proporcionarle ayuda para encarar los hechos: «Permítaseme que añada que… la interpretación del principio de Carnot se me ocurrió antes de saber que Clausius había enunciado o demostrado la proposición».

Clausius percibió en la equivocación de Thomson algo de aquella rivalidad nacionalista que continuaba oscureciendo el estudio científico del calor. Pero Clausius prefirió permanecer al margen de mezquinas disputas. En los años que siguieron, procuró ser educado y trabajar diligentemente; pronto fue recompensado su buen juicio.

Con apenas treinta y dos años, a Clausius se le ofreció un puesto de profesor en la Escuela Politécnica, una prestigiosa universidad nueva en Zurich. Aunque el celebrado joven científico se vio un poco alicaído por tener que abandonar su patria, el nuevo empleo estaba muy bien pagado y a él le emocionaba la posibilidad de investigar junto con algunas de las mentes más preclaras del mundo. Y además, sus hermanos menores ya tenían suficiente para cuidarse solos.

En los años siguientes a la llegada a Zurich del joven soltero, no tardó en amasar una pequeña fortuna y encontrar el amor de su vida, una joven llamada Adelheid Rimpau. Aunque ella vivía en Zurich, Rimpau era muy germánica, cosa que encantaba a Clausius, nacida y criada en Braunschweig.

El 13 de noviembre de 1859, se casaron. Durante más o menos un año vivieron en Riesenbach, una zona residencial de Zurich. Clausius nunca había sido tan feliz en su vida. Su bella esposa no solo era vigorosa y con talento musical, sino que compartía su deseo de tener muchos hijos… también ella provenía de una familia numerosa.

En 1861 fueron felicísimos cuando Adelheid dio a luz una niña saludable y preciosa. Al poco, la familia se mudó a una zona apartada unos cuantos kilómetros del centro de Zurich, donde pudieron permitirse una casa grande y un lugar «con aire puro» declaraba entusiasmado Clausius «y una bonita vista del lago y de las montañas».

Clausius estaba en la cúspide y desde allí era capaz de discernir las consecuencias últimas de sus primeras ideas. A diferencia del aire puro y fresco que rodeaba las montañas alpinas de Zurich, sin embargo, sus conclusiones resultarían no ser nada tranquilizantes: por el contrario, más bien eran inquietantes.

Su razonamiento comenzaba recordando los dos familiares ejemplos del comportamiento irreversible del calor. En primer lugar, el calor parecía fluir naturalmente de lo caliente a lo frío y nunca de lo frío a lo caliente. En segundo lugar, la fricción cambiaba el movimiento mecánico en calor; no parecía haber en la naturaleza un proceso comparable que trocara el calor en movimiento mecánico.

Clausius observaba que, en esencia, este comportamiento asimétrico del calor representaba dos tipos diferentes de cambio. Uno representaba un cambio de *temperatura* (energía térmica fluyendo de lo caliente a lo frío). El otro representaba un cambio de energía (energía mecánica que se transformaba en energía térmica por medio de la fricción).

El cambio de energía ¿era básicamente distinto del cambio de temperatura?, se preguntaba Clausius. Le recordaba una pregunta parecida que se había hecho hacía años cuando analizaba las máquinas de vapor, a saber: «¿Un incremento de calor es básicamente distinto de un incremento de trabajo?». Recordaba que había propuesto con atrevimiento que no eran lo mismo, que eran dos variantes de una misma cosa: incrementos de *energía*. Esa afirmación le había conducido a la Ley de la Conservación de la Energía.

Por analogía, Clausius decidió entonces proponer algo que tenía ese mismo alcance: los cambios de energía y de temperatura, como los que se daban en el comportamiento irreversible del calor, no eran sino variantes de una misma cosa: cambios de *entropía*. «He acuñado intencionadamente la palabra *entropía* para que sea lo más parecida posible a la palabra *energía* —explicaba Clausius—, porque las dos magnitudes… están casi tan imbricadas en su significado físico que parece deseable cierta similitud en su denominación».

Años atrás Clausius había demostrado que, fundamentalmente, la energía solar estaba compuesta de lo mismo que la energía eléctrica y la energía acústica y que cualquier otro tipo de energía. A pesar de su procedencia de distintas fuentes y de sus diferentes comportamientos, todas las variedades de energía eran subrepticiamente una misma cosa.

Por ello, y en último extremo, todo podía contabilizarse con la misma regla. Así, fuera energía solar, o eléctrica, o acústica, cualquier tipo de energía podía medirse en calorías, por ejemplo. Era como decir que todo objeto sólido fuera bastón, persona o piedra, podía ordenarse por su peso en kilos o cualquier otra unidad común de peso.

Clausius proponía entonces que existía un fenómeno aún mayor y más amplio que la energía. Imaginaba que la entropía abarcaba no solo todas las variantes de energía sino también la temperatura: definiendo la temperatura, como siempre, por la lectura de un termómetro corriente.

Fue como si Clausius hubiera sido el primero en descubrir que Estados Unidos, por grande que fuera, no era sino parte de un continente mucho mayor. La entropía representaba un horizonte nuevo y misterioso en el pensamiento científico (horizonte que abarcaba los vastos territorios de la temperatura, la energía y quién sabía qué más) y el joven pionero prusiano estaba ávido de explorarlo.

A pesar de sus diferentes apariencias y comportamientos, Clausius aventuró la hipótesis de que los cambios de energía y de temperatura podían medirse con una medida única. Es decir, al igual que ocurría con las diferentes formas de energía, estas diferentes formas de entropía podían sumarse y

restarse.

La mente del intrépido explorador se vio inundada de preguntas, entre ellas las siguientes: ¿Cuál era exactamente la suma total de los cambios de entropía que se daban en el universo? ¿Fluctuaba ese inmenso total o era una constante? En otras palabras: ¿Existía una Ley de la Conservación de la Entropía equiparable con su Ley de la Conservación de la Energía? Aquel Clausius rebosante creía que, de ser así, formarían una pareja de excelentes trofeos.

Pero ¿cómo poner manos a la obra para realizar semejante cálculo a escala cósmica? ¿Cómo podría averiguar la entropía total del universo? ¡Tendría que tener en cuenta todos los cambios de energía y de temperatura en cualquier momento dado!

Sin desalentarse, Clausius decidió intentarlo, creando primero un sistema sencillo de registro: todos los cambios *naturales* (cambios de energía y de temperatura que se daban espontáneamente en toda la naturaleza, sin coerción alguna) se considerarían *cambios positivos* de la entropía. Por ejemplo, siempre que el calor se escapara de una casa caliente hacia el exterior más o menos frío, o que una taza de café caliente se fuera enfriando progresivamente (comportamiento que era el natural del calor). Clausius diría que la entropía de esos lugares *se incrementaba*.

A la inversa, todos los cambios *antinaturales* (cambios de energía y de temperatura que ocurrían solamente cuando se obligaba a la naturaleza mediante algún tipo de máquina) serían considerados como *cambios negativos* de la entropía. Por ejemplo, siempre que una máquina de vapor trocara el calor en trabajo o que un refrigerador forzara al calor a ir de un sitio frío a otro más o menos caliente, Clausius diría que la entropía de esos lugares *disminuía*.

Provisto ya de un sistema para llevar un registro, el joven necesitaba ahora sumar cosas. Pero ¿cómo? Recordó que hacía años había comprobado la noción de conservación de la energía sumando los cambios de energía que se daban en el interior de las máquinas de vapor. Por ello, y por mera curiosidad, procedió de la misma manera con la entropía.

A manera de inicio, Clausius descubrió en las maquinaciones de las máquinas ideales motivo de regocijo. Según sus cálculos había exactamente tantos cambios positivos de entropía como negativos; es decir ¡no había cambios netos en la entropía del universo!

Clausius se quedó extasiado: era el primer indicio de que evidentemente había una segunda ley idéntica a la primera, ¡una Ley de la Conservación de la Entropía! Sin embargo, al proseguir sus cálculos, aquel embeleso dio paso a una cruda realidad.

Para todas las máquinas de vapor reales (que invariablemente quedaban muy lejos de la eficiencia ideal definida por el principio de Carnot), los cálculos de Clausius revelaron algo completamente distinto. Los cambios *naturales* que se daban en tales máquinas (calor que se desperdiciaba al pasar de la caldera caliente al radiador más frío y trabajo que se convertía inútilmente en calor por medio de la fricción) siempre *sobrepasaban* al único cambio *antinatural* (calor que se trocaba en trabajo por medio de los pistones).

Tal y como lo planteaba Clausius con su sencillo esquema de registro, significaba que en cualquier máquina de vapor corriente, los cambios positivos de entropía superaban siempre a los cambios negativos. Es decir, que el funcionamiento de tales máquinas siempre daba como resultado un *incremento* neto de la entropía del universo.

El terrible curso de los acontecimientos no se detenía ahí: el atónito Clausius se decía a sí mismo que estos resultados se aplicaban a todo tipo concebible de máquina en la vida real, incluyendo los molinos de viento y los seres humanos. Lo cual significaba que su descubrimiento sobre la entropía

era universal. Todos los cambios positivos y negativos de la entropía que se daban en las máquinas reales del universo siempre daban como resultado un *incremento* de la entropía. ¡Siempre!

Para expresar esto matemáticamente Clausius eligió $S_{universo}$ para representar la entropía total del universo; la letra griega delta mayúscula, Δ, para representar el «cambio neto en…» y el símbolo > para representar «siempre mayor que…». Por ello, su sorprendente conclusión quedaba expresada según la siguiente ecuación:

$$\Delta S_{universo} > 0$$

En castellano corriente y moliente: «El cambio neto en el total de la entropía del universo es siempre mayor que 0». Es decir: que en cualquier momento dado, el *Sturm und Drang*[7] de la existencia siempre deja al universo con más entropía que antes; que los cambios positivos de la entropía siempre superan a los cambios negativos.

Clausius reflexionó melancólico que durante un breve tiempo se había equivocado al pensar en descubrir una Ley de la Conservación de la Entropía. Pero esa ley solo se aplicaría a un universo perfecto, a un universo lleno de máquinas *ideales* (lo cual quería decir máquinas de movimiento perpetuo) en las que las cosas nunca envejecían sino que eran eternas. En ese universo hipotéticamente ideal, la entropía era una constante de la vida, como la energía.

Pues bien, suspiró Clausius, ese no era nuestro universo. El nuestro estaba lleno de máquinas *imperfectas*, fueran animadas y minúsculas, como las células de nuestro cuerpo, o inanimadas y gigantescas, como las galaxias espiral de los cielos. El nuestro era un universo en el que la energía se conservaba pero no se aprovechaba con sublime eficiencia… un universo, además, regido por la desigualdad de una misteriosísima Ley de la No Conservación de la Entropía.

Sin embargo, Clausius no estaba completamente decepcionado: aunque estas dos leyes no eran equivalentes, le dio una enorme alegría descubrir que esta ley que revelaba el comportamiento asimétrico de la entropía también proporcionaba la tan ansiada explicación del comportamiento asimétrico del calor y de la propia vida; de hecho, ¡su nueva ley era la primera explicación científica de por qué envejecía todo en el universo y terminaba por morir!

El universo, tal y como lo revelaba esta notable ley de la entropía, era como un casino. La entropía era como el dinero. Y las máquinas eran los jugadores.

La Ley de la No Conservación de la Entropía de Clausius significaba que los cambios positivos de dinero del casino siempre excedían a los cambios negativos. En otras palabras: que las ganancias del casino siempre superaban a las pérdidas; siempre tenía beneficios, y por eso el negocio siempre estaba en funcionamiento. Un casino vive a expensas de sus clientes, lo cual significa que solo podrá mantener las ganancias siempre que los jugadores pierdan. Una vez que lo hayan perdido todo, una vez que hayan cesado los cambios positivos de dinero, el casino tendrá que cerrar para siempre.

De forma parecida, la Ley de la No Conservación de la Entropía de Clausius quería decir que, a semejanza de un casino, el universo existe a expensas de sus máquinas, entre ellas la máquina humana. Mientras el universo siga teniendo beneficios, por así decir, mientras los cambios positivos de entropía excedan a los cambios negativos, seguirá abierto. El día que todas sus máquinas lo hayan perdido todo (el día que los cambios positivos de entropía dejen de existir) el universo tendrá que cerrar para siempre.

También había otra manera de verlo. Según el esquema de registro de Clausius, los cambios

positivos de entropía se correspondían a los cambios *naturales*, como el del calor que fluye de lo caliente a lo frío o el de la fricción que troca el trabajo en calor. Por ello, esta ley equivalía a decir que el universo cerraría para siempre cuando todos sus cambios naturales dejaran de existir, es decir, cuando todos sus fenómenos naturalmente irreversibles se hubieran agotado por completo.

¿Cuándo ocurriría eso? El número de máquinas y el tamaño del universo eran excesivamente grandes para que ni Clausius ni nadie pudiera estimar cuánto seguiría abierto el universo. Sin embargo, sí era capaz de imaginar *qué aspecto* tendría en sus últimos momentos.

Al fluir la energía de lo caliente a lo frío, haría que las zonas calientes se enfriaran un poco y las zonas frías se calentaran un poco. Por ello, en último extremo no habría regiones calientes o frías: el universo entero quedaría uniformemente tibio.

Sin zonas calientes o frías, el calor cesaría de fluir. Lo cual significaba, según el principio de Carnot, que las máquinas dejarían de funcionar: no podrían seguir convirtiendo calor en trabajo útil.

Por su parte, la fricción convertiría en calor todo el trabajo remanente. Ese calor seguiría fluyendo hacia lo frío hasta que, también terminara por uniformizarse con la tibieza homogénea del universo moribundo.

La Ley de la No Conservación de la Entropía de Clausius retrataba un universo que se precipitaba de cabeza hacia un momento en el que el ruido y la furia de sus billones de máquinas quedaran en silencio para siempre. Retrataba un universo en el que la violencia mortal daba paso inevitablemente a la quietud eterna.

Clausius terminaba diciendo, de manera descriptiva, que su nueva ley pintaba el cuadro de un universo extremadamente tenso en el proceso de soltarse el pelo buscando una existencia más calmada aunque moribunda. Y ahí se encontraba la solución de uno de los mayores misterios de la ciencia: el irreversible comportamiento del calor (y, en general, la irreversible naturaleza de la vida) era una mera indicación de que el universo no había llegado todavía a su punto de reposo definitivo.

Mientras el calor fluyera de todos los puntos calientes del universo (las estrellas, los núcleos de los planetas, el interior de los seres vivos), mientras las máquinas del universo transformaran ese flujo de calor en potencia, el universo seguiría vivo, y sería un mundo violento.

Pero cuando llegara el momento en que todos los puntos calientes se hubieran enfriado, cuando toda la energía mecánica útil se hubiera convertido en calor y ese calor, a su vez, también se hubiera disipado… solo en ese momento prevalecerían la paz y la quietud para siempre en todas las partes del universo.

Para Clausius había llegado el final de ese esfuerzo de dieciocho años, aunque no como había imaginado. En 1850 se había propuesto meramente elaborar una nueva teoría del calor. Lo había conseguido pero también había llegado a la desigualdad de las leyes de la naturaleza que revelaba un espeluznante axioma acerca de la existencia humana: que habitamos no un universo que nos sustenta y sustenta la vida sino un universo que se beneficia y que existe *a costa* de la vida.

Como estudiante de ciencias, a Clausius le tranquilizaba pensar que probablemente pasarían miles de millones de años antes de que el universo nos arrebatara todo lo que apreciamos: la tierra, los cielos, nuestros hijos. En otras palabras, no había razón inmediata para alarmarse.

Sin embargo, como antiguo alumno del reverendo Clausius, aquel hombre de cuarenta y tres años se intranquilizaba por aquella prueba científica sin precedentes de que habría un día en que *llegaría* el final. Era capaz de apreciar la mortalidad del cuerpo humano: «A una expiraría toda carne —afirmaba Job 34:15— y el hombre al polvo volvería». Clausius era incluso capaz de imaginar la impermanencia

de la Tierra o del Sol que da la vida o de cualquier otro aspecto individual del mundo natural; pero esta ley recién descubierta afectaba *a todo*. Melancólicamente llegó a la conclusión de que el conjunto de la creación divina moriría y desaparecería para siempre.

EPÍLOGO

Fue una erupción volcánica que gentes de todo el mundo recordarían el resto de su vida: el 26 de agosto de 1883 hizo explotar la pintoresca isla de Krakatoa, matando a 36.000 personas y haciendo temblar el aire de todo el planeta de manera incontrolable.

La monumental erupción lanzó tantos gases y polvo a la capa superior de la atmósfera que obstruyó el paso de la luz solar dándole un tinte azul verdoso. Como consecuencia, y en los tres años siguientes, la temperatura en lugares tan alejados como Europa bajó hasta un 10 por ciento, dando a los veranos un frescor casi otoñal.

En Bonn, Rudolf Clausius, de sesenta y un años, se maravilló de las consecuencias del Krakatoa. Para él eran una trágica ilustración de la fuerza, la decisión con las cuales el universo se tambaleaba hacia su destino último de reposo y relajación, como un pedrusco que se precipita por la ladera de una montaña o, tal y como había escrito el poeta John Keats en otro momento de ese mismo siglo, como «una frágil gota de rocío en su peligroso descenso desde la copa de un árbol».

Como todos los desastres naturales, un volcán no era más que una gran máquina. Se alimentaba del calor que fluía desde su propio lago subterráneo de rocas fundidas. La llamada *cámara magmática* era para el volcán lo que la caldera para una máquina de vapor o lo que el proceso metabólico era para un animal de sangre caliente.

La potencia desatada por un volcán era enorme. Mientras el cuerpo humano no producía más que medio caballo de potencia y una máquina de vapor modesta producía unos cientos de caballos de potencia, la tonante erupción del Krakatoa había producido *30.000 millones* de caballos de potencia: ¡elevando más de 20.000 millones de metros cúbicos de cenizas y escombros a más de 32 kilómetros de altura, levantando olas de más de quince metros en el océano y arrebatando la vida a 36.000 personas!

Hubo otros efectos producidos por el Krakatoa: parte de su energía térmica procedente de sus fuentes subterráneas se había empleado en producir un enorme ruido, es decir, energía acústica. Otra parte se empleó en producir una luz brillante, es decir, energía luminosa. Y también otra parte se había *desperdiciado*: el calor había fluido sin más desde la cámara magmática a más de 1.000 grados de temperatura al aire tropical relativamente fresco de la islita paradisíaca que había sido Krakatoa.

Según el esquema de registro de Clausius parte de los efectos catastróficos de Krakatoa se correspondían con cambios entrópicos positivos; otros se correspondían con cambios negativos. Sin embargo, todos ellos considerados en conjunto se habían combinado para *incrementar* la entropía total del universo, como era de esperar.

El viejo profesor de porte aristocrático meneó maravillado su cabeza de blanca melena: en un relámpago 36.000 personas y un volcán habían perdido todo lo que tenían en el casino cósmico. Sería muy difícil calcular el monto total de la apuesta perdida, por así decir, pero la inevitable conclusión la arrojaba la Ley de la No Conservación de la Entropía: el universo *había salido ganando* con el desastre del Krakatoa.

Gracias al Krakatoa, el universo se había acercado un paso más a su ideal de la jubilación eterna en una tibia tranquilidad: se habían detenido treinta y seis mil y una de sus máquinas. Se habían equilibrado las diferencias de temperatura: el volcán y los cuerpos de sus víctimas estaban ya un poco más fríos y el aire de su entorno un poco más caliente.

Buena parte de esta siniestra visión de los efectos envejecedores de la entropía era producto del descubrimiento originario de Clausius de quince años atrás. Sin embargo, hacía solo seis (en 1877) que un físico austríaco llamado Ludwig Boltzmann había inventado un modo distinto de describir lo mismo.

Boltzmann había demostrado matemáticamente que la entropía era una medida del *desorden*. Había llegado por tanto a la conclusión de que la Ley de la No Conservación de la Entropía de Clausius significaba que el universo se iba haciendo más *caótico* conforme se atemperaba.

Lo cual suponía, desde luego, que el universo debía de haber empezado en una tensión suma y como algo sumamente organizado: como si hace miles de millones de años algo o alguien hubiera construido un reloj de cuerda soberbiamente diseñado y le hubiera dado toda la cuerda posible: al igual que aquel reloj, el universo estaba en el proceso de ir cada vez más despacio, perdiendo cuerda, relajándose lentamente, descomponiéndose cada vez más.

En el momento actual, el universo estaba suficientemente organizado y todas sus partes funcionaban con precisión científica. Había regiones calientes y frías bien definidas; había máquinas bien diseñadas y bien definidas que producían energía mecánica bien organizada que podía servir a propósitos bien definidos.

Sin embargo, el universo iba perdiendo con el paso del tiempo todos esos rasgos distintivos: las regiones de diferentes temperaturas iban mezclándose unas con otras y las máquinas se quedaban sin combustible, deteriorándose y fundiéndose con el terreno circundante. Hasta el propio suelo firme (de hecho, todos los sólidos y también los líquidos) iba disociándose gradualmente, convirtiéndose todo, en último extremo, en un batiburrillo de gases tibios inclasificables.

La caótica interpretación de la entropía que hacía Boltzmann solo añadía a su terrible naturaleza su incomprensible implacabilidad. Ahí se veía más que nunca que la Ley de la No Conservación de la Entropía de Clausius significaba que el universo vivía de la vida y de los comportamientos parecidos a la vida; que se inclinaba hacia la muerte y la destrucción.

La creación de vida era un acto antinatural, un deshacer provisionalmente el natural desorden de las cosas. En resumen: ¡la vida *desafiaba* las leyes de la naturaleza! ¿Y cómo era posible ese desafío a la ley de la entropía? ¿Cómo era posible que la vida llegara a darse en un universo regido por una ley enemiga de la vida?

Clausius sabía ahora la respuesta: como todo comportamiento antinatural, la vida era el resultado de cierta máquina cuyos efectos coercitivos eran capaces de invertir las leyes del comportamiento normal, a la manera de un refrigerador que era capaz de hacer fluir el calor de lo frío a lo caliente. La máquina de la vida, fuera lo que fuera o El que fuera, era un misterio, desde luego, pero una cosa era segura: inevitablemente sus maquinaciones suponían cambios de entropía, algunos positivos y otros negativos.

Su propio retoño recién nacido correspondía al mayor cambio *negativo* de la entropía de la máquina: es decir, al caos de las sustancias químicas y biológicas que daban como resultado la combinación de un óvulo con un espermatozoide y que en último extremo se convertía en un organismo sumamente ordenado, *disminuyendo* así la desorganización del universo. Como tal, la vida

representaba una enorme pérdida, una experiencia poco provechosa para el casino cósmico.

Según la ley de la entropía de Clausius, que no perdonaba, sin embargo, los cambios *negativos* útiles de la entropía producidos por la máquina de la vida siempre debían quedar superados por los cambios de entropía *positivos*, cambios de desperdicio. En otras palabras, científicamente hablando, la creación de cierta cantidad de vida se veía inevitablemente acompañada de una cantidad de muerte muchísimo mayor.

Clausius sabía y sentía demasiado bien qué significaba todo eso. Él y su amada esposa Adie habían sido máquinas de vida. Juntos habían dado vida a dos chicos y cuatro chicas pero a cambio habían pagado un precio mortalmente alto.

En 1875 Clausius perdió una esposa y ganó una hija; además, en los años siguientes aquella recién nacida se convirtió en una hermosa joven. Recordaba un amigo de la familia: «Nunca he conocido a una niña tan alegre, tan animosa, con un paso tan decidido como el de esa última niña que nunca pudo reposar en el pecho de su madre».

Pero el intercambio no había sido equitativo, pensaba el anciano. Había disfrutado mucho educando a sus hijos, como en tiempos disfrutara educando a sus propios hermanos y hermanas huérfanos de madre. Pero a pesar de haber recibido de todos ellos mucho amor y mucha compañía, una parte de él nunca podría estar alegre, una parte de él había muerto con su preciosa Adie: había sido una pérdida irreparable en el casino cósmico.

Clausius había descubierto que en el campo de batalla de nuestra existencia cotidiana, las fuerzas de la muerte eran en último extremo más fuertes que las fuerzas de la vida. Él seguía vivo, pero había sufrido una pérdida dolorosa. Él era una casualidad de la desigual ley de la entropía: solo el universo había salido ganando con el cambio.

En 1886 Clausius volvió a casarse. Quizá, pensaba el anciano profesor secándose los ojos llenos de lágrimas con el dorso de la mano, quizá fuera su torpe manera de intentar recuperarse de la pérdida de su primer amor y de su propia juventud y energía, su manera de intentar desafiar la ley de la entropía.

Por supuesto que en el fondo de su alma y de su corazón, el anciano Clausius se daba cuenta de que tal desafío era inútil. La Ley de la No Conservación de la Entropía requería que se viviera la vida, del nacimiento a la muerte. Como diría algún día el joven psiquiatra austríaco Sigmund Freud: «El objetivo de toda vida es la muerte».

Desear lo contrario era desear que la entropía del universo *disminuyera* con el paso del tiempo, cosa que era imposible. Igual que se podría desear que las hojas del otoño se metieran solas en sacos nada más caer de los árboles o que el agua se congelara al calentarla.

Para Clausius la estación de su vida estaba llegando al final. Los médicos le habían explicado que su cuerpo había perdido su capacidad de absorber la vitamina B_{12}, lo cual le provocaría una anemia perniciosa. Vacilaba su fuego vital, por así decir, sofocado por la falta de oxígeno.

En el verano de 1888, la enfermedad de Clausius ya le había provocado alteraciones irreversibles en el cerebro y en la médula espinal: olvidaba las cosas y tenía dificultades para andar. Fue misericordioso que muriera el 24 de agosto rodeado de su amantísima familia y de unos pocos amigos.

Sus colegas de todo el mundo lamentaron la pérdida de un gran científico; sus alumnos, la pérdida de un gran profesor; sus hijos la pérdida de un gran padre. El mundo se había beneficiado de la larga y productiva vida de Clausius. Y ahora que esa máquina amable e inteligente se había detenido, el codicioso universo en su conjunto se había beneficiado de su muerte.

LA CURIOSIDAD MATÓ A LA LUZ

Albert Einstein y la Teoría de la Relatividad Especial

Si un poco de conocimiento es peligroso, ¿dónde está el hombre que tenga tanto conocimiento como para quedar fuera de peligro?

T. H. HUXLEY

Era la primavera de 1895, y para el Albert Einstein de dieciséis años, aquella excursión por los Alpes del noreste de Suiza era lo más parecido al paraíso que pudiera imaginar. Durante los tres días siguientes no tendría que sentarse en el aula y atender a una clase aburrida; en la montaña él y su curiosidad podían andar a rienda suelta por aquel paisaje que era uno de los más espectaculares del mundo.

Por supuesto, habría preferido estar solo en lugar de ir con sus compañeros de clase de la escuela cantonal suiza de Aarau y con su profesor de geología Friedrich Mühlberg. Odiaba que le llevaran de un lado a otro como un animal, pero se consolaba desconectando de los comentarios de Mühlberg y dedicando su atención y sus pensamientos a todo aquello de placentero que descubría en el camino.

Aquel día, Mühlberg había decidido llevar al grupo hasta la cima del monte Säntis. Llovía ligeramente cuando se pusieron en marcha al amanecer, pero nadie se quejó porque la vista neblinosa era absolutamente espectacular, siluetada sobre el tinte rojizo cada vez más claro del horizonte por oriente.

La pequeña tribu de estudiantes fue abriéndose paso durante horas hacia la cumbre. La lluvia se hizo más fuerte pero todos llevaban botas camperas así que fueron capaces de mantener el paso. Todos, naturalmente, menos Einstein. No había prestado excesiva atención a la ropa con la que se vestía para la marcha y, en consecuencia, no hacía más que resbalarse y caerse por la pendiente al pisar con sus zapatos de calle.

Ya avanzada la mañana, los estudiantes habían ascendido bastante por aquel pico de 2.400 metros cuando ocurrió el incidente. El joven Einstein, espoleado en su curiosidad por cierto edelweis que crecía en la oscura grieta de una mole rocosa, se inclinó demasiado y perdió el equilibrio. Mientras empezaba a caer dando tumbos intentó sujetarse a un arbusto, a un pedrusco, ¡a cualquier cosa!, pero en vano: se precipitaba hacia la muerte.

Justamente por debajo de él, su compañero de clase Adolf Fisch miró hacia arriba e inmediatamente se hizo cargo del peligro que corría Einstein. Sin dudarlo, Fisch tanteó con su bastón de escalada y lo extendió justamente cuando su mal calzado compañero pasaba rodando ante él. Instintivamente, el joven Einstein extendió la mano y se sujetó al bastón: bastó para detener su caída.

En ocasiones, un roce con la muerte hace que una persona vuelva a valorar el significado de su vida, se haga más introspectiva e incluso más religiosa. Pero no Einstein: a los dieciséis años ya

estaba tan desentendido de las realidades normales de la vida que era difícil imaginarle todavía más introspectivo.

En cuanto a lo de hacerse más religioso, el joven Einstein era judío de nacimiento pero nunca había creído en ningún Dios personal que habitara en los cielos. En su lugar, creía en un Dios panteísta que habitaba aquí, en la tierra, en las flores, en la lluvia, incluso en las escurridizas rocas de los Alpes suizos. «Creo en un Dios que se revela en la armonía de todo lo que existe —escribiría Einstein siendo ya un hombre de mediana edad—, y no en un Dios que se preocupa por el destino y las acciones de los hombres».

Por tanto y a pesar de su cercanía a la muerte, el joven siguió sin sentir curiosidad por la imponderable belleza del presunto reino sobrenatural y sí por la ponderable belleza del mundo natural, que era para él un cielo en la tierra. «No tengo un talento especial —diría más adelante—, sencillamente, soy extremadamente inquisitivo».

Concretamente, el adolescente era «extremadamente inquisitivo» en relación con la luz. Hacía poco que un físico escocés llamado James Clerk Maxwell había dado pruebas matemáticas de una idea absolutamente extraordinaria: la de que la luz consistía en ondas, ondas compuestas de *electricidad* y *magnetismo*.

Estas ondulaciones hipotéticas eran difíciles de imaginar pero el principio podía ilustrarse si se pensaba en una mujer que intentara ajustar la colocación de una gran alfombra sujetándola por un extremo y sacudiéndola con un golpe de muñeca; invariablemente producía una agitación en la alfombra que se desplazaba por toda ella a lo largo de la habitación.

Según Maxwell, una cosa parecida ocurría cada vez que se conectaba la electricidad (el equivalente de sacudir la alfombra): siempre producía una agitación invisible de electromagnetismo que viajaba por el espacio. Aquella agitación, y Maxwell lo había demostrado matemáticamente, era lo que llamamos una onda luminosa.

El joven Einstein ya llevaba años preguntándose qué aspecto tendría una ondulación de electricidad y magnetismo. Suponía que un modo de averiguarlo sería colocarse al lado de la onda y mirarla. Pero se daba cuenta de que eso era un mero sueño intelectual, suponer que se podía viajar a 300.000 kilómetros por segundo, la velocidad de la onda luminosa.

Si fueran las ondas *sonoras* las que le interesaran… Viajaban solamente a 300 metros por segundo y por eso era más sencillo imaginar lo que ocurriría si se fuera a la par con ellas. ¿Y qué *ocurriría*? El joven llegó a la conclusión de que la sorprendente respuesta era que dejaría de oír las ondulaciones del sonido.

Por ejemplo, si se alejara de una orquesta exactamente a la velocidad del sonido, entonces sus orejas irían *a la par* que la música (como un surfista cabalga sobre una ola) y en consecuencia las notas irían moviéndose a la par que sus orejas *sin poder entrar* en ellas. Si mirara hacia atrás, *vería* a los músicos pero no oiría su música.

¿Sería lo mismo cierto de la luz? Si por milagro pudiera alejarse de la orquesta a la velocidad de la luz, el joven Einstein había conjeturado que la inevitable conclusión sería que las ondas luminosas viajarían a la par que sus ojos *sin poder entrar* en ellos. Por tanto cuando mirara a los músicos, no los vería. ¡Sería como si hubieran desaparecido!

Para el joven Einstein todo aquello parecía indicar un universo excesivamente sobrenatural para su gusto, un lugar en el que cualquier cosa (personas, plantas, galaxias) podían aparentemente estar aquí en un instante y haber desaparecido al siguiente. Ya avanzada su vida y mientras seguía debatiéndose

con esta situación que burlaba al cerebro y parecía una pesadilla, menearía la cabeza lleno de frustración e incredulidad, diciendo: «¿Quién iba a imaginar que esta sencilla ley [la relacionada con la velocidad de la luz] sumergiría a un físico concienzudo y serio en las mayores dificultades intelectuales?».

Sin embargo, y de momento, aquel joven de dieciséis años se sacudió la ropa con un suspiro de alivio. Cuando reemprendió la marcha hacia el valle, con todos sus compañeros y el profesor caminando protectoramente a su alrededor, Einstein se iba congratulando de haber salido indemne. Pensaba que el peligro había pasado aunque lo cierto es que solo era el inicio.

En los años siguientes, la indomable curiosidad de Einstein llevaría a la humanidad hacia un territorio muchísimo más peligroso que la colina resbaladiza por la lluvia en la cual acababa de sobrevivir. Además, al perseguir las respuestas que buscaba en relación a la luz, Einstein no descansaría hasta llegar a la mismísima cumbre del conocimiento científico.

Sería un logro digno de alabanza pero la inesperada y espantosa vista desde la cima nos dejaría vacilantes sobre el precario pináculo sin saber qué deberíamos hacer a continuación. ¿Deberíamos seguir subiendo hasta cumbres aún más altas? ¿O deberíamos buscar un camino para descender? Y también nos daríamos cuenta de que la ciencia por sí sola no podría responder a estas preguntas.

VENI

Antes del siglo XIX no había habido nunca tantas esperanzas de utilizar las técnicas matemáticas y experimentales de la ciencia para comprender, finalmente, los orígenes y el comportamiento de las personas. Los doctos predecían que el futuro inmediato pertenecía a las ciencias *humanas*.

Por ejemplo, en 1859, un naturalista británico llamado Charles Robert Darwin publicó *El origen de las especies*, en el que refutaba el relato bíblico de la Creación. Según la herética nueva teoría de Darwin, todos los seres vivos, incluyendo los humanos, habían evolucionado gradualmente por medio de un proceso en dos fases llamado *selección natural*; era la versión que la naturaleza tenía de la *selección artificial* que desde la Edad de Piedra, hacía unos 10.000 años, llevaban utilizando los criadores para domesticar incontables especies de plantas y de animales.

La primera fase de la selección natural, según explicaba Darwin, se daba cuando los padres concebían un retoño. En términos biológicos, aunque se pareciera a sus padres, la progenie se componía de individuos *únicos* que poseían una combinación de genes que no tenía nadie más.

Darwin teorizaba diciendo que la segunda fase comenzaba por la suposición de que en cualquier momento, en cualquier región del mundo, habría más retoños que los que podían sobrevivir. Por tanto, la progenie se vería obligada a competir con la naturaleza y entre sí para hacerse con los limitados recursos: Darwin llegaba a la conclusión de que en la lucha subsiguiente prevalecerían y se reproducirían aquellos descendientes cuyos rasgos genéticos únicos les proporcionaran mayor ventaja.

Como ejemplo, Darwin citaba las polillas que vivían de la vegetación de Londres. Como resultado de la Revolución industrial, los edificios y los árboles de la ciudad se veían salpicados de contaminación por hollín. Darwin había observado al mismo tiempo que las polillas nacidas con las alas moteadas de forma natural prosperaban a expensas de las que nacían con alas de color liso; Darwin avanzaba la conjetura de que las alas moteadas eran una ventaja porque se confundían con los colores del fondo y así se libraban de ser vistas por sus depredadores.

Aunque creía firmemente en su controvertida nueva teoría, el propio Darwin era bastante reticente a defenderla en público. Aquella tarea abrumadora recayó sobre sus amigos y colegas más valerosos y muy notablemente sobre Thomas Henry Huxley (al que algunos llamaron el perro de presa de Darwin) y el filósofo Herbert Spencer.

En los años siguientes, Spencer demostró ser muy persuasivo y convincente acuñando el eslogan «supervivencia de los más aptos» para explicar las complejas ideas de Darwin a las masas. Sin embargo, en ese proceso de defensa de la teoría, Spencer se tomó ciertas libertades injustificadas sobre todo en lo que se refería a su aplicación a la sociedad humana.

Según Spencer, como resultado de la competencia cotidiana en la sociedad (en casa, en el trabajo, en los deportes, y así sucesivamente) las personas menos dotadas genéticamente serían eliminadas en un proceso denominado *darwinismo social*. Aunque los científicos, entre ellos el propio Darwin, se mofaron de tal perversión de una teoría legítima, entre los empresarios de la era industrial se convirtió en un modo popular de racionalizar su explotación de los pobres.

Sin duda el ejemplo más extremado y escalofriante de spencerismo fue el filósofo alemán Friedrich Nietzsche. «Hemos de buscar el superhombre —escribió—, que representará los instintos de competitividad y supervivencia».

Nietzsche se reía despiadadamente de la humildad, la compasión y demás virtudes cristianas que para él hacían a la gente débil y servil. «Observa bien el sufrimiento y úsalo como instrumento de placer —aconsejaba arrogante—; destruye al enfermizo de modo que tu experiencia esté siempre señalada por la evidencia del superhombre».

El modo de pensar de Spencer y de Nietzsche enseguida desembocó en un floreciente movimiento *eugenésico* que comenzó proponiendo la aplicación de un cruzamiento selectivo durante muy largo tiempo a los humanos. El hombre que dio nombre y abanderó el movimiento fue un psicólogo inglés llamado Francis Galton; en 1874 escribió el opúsculo *English Men: their Nature and Nurture* (Ingleses: su naturaleza y su cultura) después de lo cual se dedicó a la investigación eugenésica y a la creación de programas de selección nacional para producir seres sobrehumanos intelectual y físicamente hablando.

Como era de prever, no pasó mucho tiempo sin que aquella extrañamente evolucionada ciencia de la selección natural se convirtiera en un instrumento del mal. Hacia la década de 1870 la eugenesia ya la utilizaban los líderes políticos para justificar su nacionalismo y los traficantes del odio para racionalizar sus extravagancias, entre ellas el antisemitismo; para muchos, la eugenesia proporcionaba una prueba incuestionablemente científica de que los judíos eran un tipo inferior y odioso de ser humano.

En Ulm (Alemania), en 1879, esa marea creciente de prejuicio con coartada de ciencia hizo la vida menos agradable a Hermann y Pauline Einstein. Sin embargo, no tenían otra opción que seguir donde estaban; no solo tenía Hermann allí su negocio sino que Pauline estaba embarazada de su primer hijo.

En otras partes del mundo, 1879 resultaba ser un año histórico no por la ignorancia y el oscurantismo sino por la creatividad y la luz: en Menlo Park (New Jersey, EE.UU.), por ejemplo, Thomas A. Edison inventaba la bombilla eléctrica mientras en Edimburgo (Escocia) James Clerk Maxwell llegaba al final de una vida extraordinaria durante la cual había sido el primero en discernir la auténtica naturaleza de la luz.

El 14 de marzo, también de aquel año, los Einstein tuvieron un hijo al que llamaron Albert. En poco más de dos décadas, la brillantez de su hijo alumbraría con la intensidad de un billón de

bombillas eléctricas, irradiando un horizonte montañoso que se elevaba mucho más allá de lo que Maxwell ni ningún otro científico habría previsto; sin embargo, resulta irónico que en un principio se tuviera la impresión de que aquel recién nacido tenía alguna deficiencia mental.

De hecho, se podría decir que el desarrollo inicial de Albert Einstein era igual de lento que veloz era la luz: fue lento para hablar, para leer, para aprender. En resumen, que parecía destinado a cualquier cosa menos a la grandeza.

No obstante, su tío Jakob prefería creer que Einstein simplemente era *distraído* y no tonto. Mientras la mayor parte de los bebés se quedaba mirando algo que se movía por encima de la cuna, la atención de su sobrino parecía estar fijada en algo que se movía (imágenes mentales) de un mundo no expresado, *interior*.

Una de las pocas veces en que el joven Einstein salió de su concha fue cuando, con cinco años, vio por primera vez una brújula, regalo de su padre. El taciturno niño se había quedado tan sorprendido por la misteriosa habilidad de la aguja de señalar siempre al norte que, según diría mucho más tarde, «temblé y me quedé helado».

En los años siguientes, el desarrollo de Einstein se hizo todavía más infrecuente y su educación todavía más heterodoxa. Sus padres no iban a la sinagoga ni su casa era una casa *kosher*;[8] además, al poco de nacer Einstein se mudaron a una zona residencial católica de Munich y por ello le matricularon en la escuela católica de la zona.

El primer día de clase era suficientemente traumático para todos los niños, pero para el jovencito Einstein fue especialmente exigente. En casa se le había permitido ser introvertido pero esa institución religiosa, con sus estrictas normas, le obligaba a participar en el mundo externo y a comportarse acorde con él.

«Lo peor de todo —diría en su momento Einstein—, es que la escuela se rija por el temor, el poder y la autoridad artificiosa. Lo que todo ello produce son ilotas serviles». Desde ese momento en adelante, Einstein odió la disciplina. Cuanto más insistían sus maestros en la uniformidad, más intruso se sentía; fue un sentimiento que le acompañó la mayor parte de su vida.

Los cinco años siguientes, el joven Einstein se quejó de tener que asistir a aquella escuela concreta, pero siguió haciéndolo, apremiado por sus padres. Cuando le llegó el momento de asistir a la escuela secundaria, el Gymnasium Luitpold, las cosas no fueron mejor; despreciaba su ordinario estilo de enseñar y a sus severos maestros.

Desgraciadamente para Einstein, los sentimientos de desaprobación eran recíprocos. «Nunca llegarás a nada», le regañó un día su maestro de latín. No es que Einstein resultara ser un fracaso; sacaba notas normales. Era que daba la clara impresión de ser arrogante.

Lo que es más: tal impresión no era del todo errónea; Einstein era una persona lista (y engreída), que leía libros a su aire; guiado solamente por su curiosidad había aprendido de esos libros muchísimo más que de sus prusianos maestros en la escuela.

Por ejemplo, durante el primer año en el Luitpold, Einstein se aficionó a los *Libros populares de ciencias físicas*, una colección atractiva de varios volúmenes escrita por Aaron Bernstein. Leyendo sus páginas, el joven se quedaba atónito al aprender hasta qué punto había llegado la ciencia del siglo XIX en su descripción del universo.

Por ejemplo, los científicos habían averiguado que la Tierra giraba en torno a su eje polar como un patinador artístico, creando una fuerza centrífuga que ya habría despedazado al planeta haría mucho tiempo de no verse contrarrestada por la atracción gravitatoria que la Tierra ejercía sobre sí misma. Lo

cierto era que, como explicaba Bernstein, hacía más de dos siglos que Isaac Newton había descubierto que esa épica lucha dio a nuestro planeta la forma de una *naranja*, ligeramente achatada por los polos y engrosada por el ecuador.

Los años siguientes el joven Einstein se llenó la cabeza con las maravillosas explicaciones de Bernstein. Se quedó enganchado a aquellas cautivadoras colecciones del mismo modo que muchas personas se quedan enganchadas hoy a las telenovelas; en cuanto el joven terminaba un volumen estaba deseando empezar con el siguiente.

Por ese medio, aquel niño de diez años se familiarizó con un brillante científico llamado Rudolf Clausius que había muerto hacía poco en la cercana Prusia. El joven Einstein aprendió que gracias a los llamativos descubrimientos de Clausius sobre el calor, los científicos estaban en ese momento intentando explicar ávidamente la extraordinaria brillantez del Sol y la historia primigenia de la Tierra.

Uno de esos científicos era un irlandés llamado William Thomson. Einstein leyó fascinado que, según él, el Sol era tan brillante porque ardía. Thomson creía que también la Tierra hacía mucho tiempo había ardido; además, a juzgar por la velocidad con la que perdía calor, calculaba que la Tierra debería haberse enfriado lo suficiente como para ser habitable hacía unos 100 millones de años.

Los cálculos de Thomson habían irritado a los defensores de Darwin, leyó Einstein con juvenil asombro, porque 100 millones de años no era tiempo suficiente para que la selección natural hubiera ejercido su efecto. Para poder explicar la presencia de las plantas y los animales existentes en la actualidad en la Tierra, la provocativa teoría de Darwin necesitaba *diez* veces más de tiempo.

Abriéndose camino en la lectura de las principales ideas de la ciencia contemporánea, el joven Einstein llegó incluso a saber de una discusión relativa al magnetismo, el fenómeno que le había sorprendido de pequeño. Aprendió que Michael Faraday había demostrado que electricidad y magnetismo eran dos aspectos de una misma fuerza (el electromagnetismo) aunque hasta ese momento el poder que se ocultaba tras ellos seguía siendo un misterio intrigante.

Preocupado porque su hijo se alejara en exceso de la sociedad normal, Hermann Einstein decidió un día visitar el Gymnasium Luitpold. Se le condujo al despacho del director y allí hablaron ambos de los problemas de Albert.

Einstein padre no era un judío ortodoxo pero creía que a los trece años un niño se convierte en hombre. Su hijo se acercaba a esa edad, explicó, y debería orientársele hacia una profesión. ¿Cuál podría sugerir, preguntó cortésmente Hermann Einstein, el apreciado señor director? «No importa cuál —fue la sorprendente respuesta—, nunca hará carrera de nada».

Con el paso de los años el mundo de Einstein se vio conformado, aparte de por sus lecturas autodidactas, por el interés de su madre en la música clásica y por el éxito de su tío Jakob como inventor. Como resultado de esas influencias, el joven Einstein había llegado a concebir el mundo natural como una sinfonía sublime o una inteligente invención: era hermoso y funcionaba tan bien precisamente porque todas sus partes trabajaban en perfecta armonía.

Convicción que se reafirmó del modo más espectacular cuando en septiembre de 1891 el joven Einstein descubrió en la librería del pueblo un libro de geometría. Aquel «sagrado libro de geometría [me hizo] una impresión indescriptible» recordaría más tarde Einstein, porque era perfecta y armoniosamente lógica, al igual que la naturaleza.

La curiosidad de Einstein sobre la sintonía entre las matemáticas y la naturaleza se incrementó aún más cuando supo de una intrigante secuencia de números, la llamada *serie de Fibonacci*: 1,1, 2, 3, 5, 8,

13, 21, 34, 55, 89, y así sucesivamente. Aun no siendo evidente, esos números estaban relacionados según una pauta: cada uno era la suma de los dos números anteriores (por ejemplo, $13 = 8 + 5$).

Descubierta en el siglo XIII por un mercader italiano llamado Leonardo da Pisa, apodado Fibonacci, la serie había sido considerada generalmente como poco más que una curiosidad numérica. Pero luego, según averiguó Einstein, los botánicos habían descubierto que había sorprendentes coincidencias entre la pauta *numérica* de la serie de Fibonacci y la pauta de *crecimiento* de muchas plantas de flor.

Por ejemplo, las ramas de la milenrama común se desarrollaban en estricta concordancia con la serie de Fibonacci: primero se bifurcaba el tallo principal de la semilla germinada (1), luego se bifurcaba uno de sus tallos secundarios (1), luego se bifurcaban simultáneamente dos tallos, secundario y terciario (2), luego se bifurcaban simultáneamente tres tallos menores (3), y así sucesivamente.

Además Einstein averiguó que también el número de pétalos de diversas flores reflejaban los números de la serie de Fibonacci: el iris tenía casi siempre tres pétalos, la primavera cinco, la hierba cana tiene trece, la margarita tiene treinta y cuatro y el aster cincuenta y cinco u ochenta y nueve pétalos.

Todas estas revelaciones tuvieron en el joven Einstein un efecto clarificador: habida cuenta de que existía este maravilloso paralelismo entre los Números y la Naturaleza, ¿por qué no utilizar entonces las leyes de la matemática para formular las leyes de la naturaleza? «Debería ser posible —llegaba a la conclusión Einstein— descubrir la imagen, es decir, la teoría, de todo proceso natural, incluyendo las de los organismos vivos, por medio de la deducción pura».

La belleza de la naturaleza era algo más que puramente superficial, descubrió Einstein, y si deseaba describirla con maña y poesía, necesitaría esforzarse mucho y durante largo tiempo para convertirse en un experto en cifras. Por ello, recordaría un Einstein ya maduro: «Entre los doce y los dieciséis años, aprendí los elementos de las matemáticas, entre ellos los principios del cálculo diferencial e integral».

Durante esos años, el precoz adolescente descubrió los secretos de lo que podría llamarse el factor de disminución. Se trataba de un truco matemático que utilizaría muchos años después mientras se esforzaba por conseguir su famosa ecuación.

El factor de disminución, escrito $1 - s$, se refería a cualquier proceso en el que el conjunto de una cosa cualquiera (una cuenta corriente bancaria, un depósito de gas, la reputación de una persona, lo que fuera) se veía disminuido en una pequeña cantidad s. Por ejemplo, $1 - 0{,}01$ significaba que el contenido de un frasquito de perfume se había reducido una centésima de su contenido original, es decir, una pizca de nada.

Einstein averiguó que el factor de disminución se podía aplicar muchas veces seguidas. En el ejemplo del perfume, la expresión $(1 - 0{,}01)^5$ era la forma matemática concisa de decir que el nivel del frasquito se había reducido a razón de una pizca al día, durante cinco días seguidos. Para calcular esos casos, aprendió el joven, había una sencilla regla en la cual N representaba el número de pizcas:

$$\mathbf{(1 - s)^N \text{ aproximadamente igual a } 1 - (N \times s)}$$

En el caso del frasco de perfume, N era igual a cinco pizcas y s era igual a una centésima. En consecuencia:

$$(1 - 0{,}01)^5 \text{ aproximadamente igual a } 1 - (5 \times 0{,}01)$$

Eso era lo que quedaba de perfume después de ponerse cinco pizcas: aproximadamente un 0,95 del total inicial, lo que es como decir el 95 por ciento.

Para cualquier matemático en potencia se trataba de un truco esencial de su profesión. Para Einstein sería el bastón de alpinista que le ayudaría a subir y bajar por el traicionero paisaje de sus propias ideas revolucionarias sobre el mundo natural.

Mientras Einstein se esforzaba con éxito en dominar las matemáticas, su padre luchaba sin éxito por poner en marcha un negocio tras otro. Cuando Albert no tenía más que un año, fracasó el taller de ingeniería de su padre en Ulm, razón por la cual la familia se había mudado a Munich. Desde entonces, el padre de Einstein y el tío Jakob habían gestionado una pequeña fábrica electroquímica pero también en ese momento estaba en bancarrota. Al cabo de unos años, Einstein recordaría que «sobre todo me ha afectado la desgracia de mis pobres padres que durante tantos años no tuvieron ni un minuto feliz».

Como consecuencia de su último fracaso, los padres de Einstein y su hermana menor decidieron abandonar Alemania y cruzar los Alpes para trasladarse a Italia, donde una rama rica de la familia de la madre había prometido ayudarles a levantar un nuevo negocio. El chico de quince años se quedó viviendo en una pensión hasta que terminara la escuela; por lo menos, ese era el plan.

Sin embargo, Einstein y el Luitpold solo tardaron seis meses en llegar a la misma conclusión: que tenía que irse. Harto del autoritarismo del Luitpold, Einstein convenció al médico de la familia de que escribiera una nota eximiéndole de la escuela por un «agotamiento nervioso». Decidido a no esperar la carta, el Luitpold le expulsó sin más alegando que «su presencia en la clase es perturbadora y afecta a los demás estudiantes».

A las pocas semanas, cuando el joven refugiado se dejó caer por casa de sus padres, en Milán, estos se quedaron desolados. Sin certificado de estudios su hijo no tendría posibilidad de hacerse con un empleo bien pagado, fuera en el servicio militar, en correos o en los ferrocarriles. Y lo que era peor, podría no llegar a darse su propia ambición de ser profesor de física en un instituto porque ninguna universidad pensaría en aceptar a un estudiante expulsado de un instituto.

La única excepción notable era el famoso Instituto Federal de Tecnología (IFT) en la cercana Zurich, en Suiza. Las normas permitían que asistiera cualquier estudiante siempre que pasara un formidable examen de acceso. Einstein decidió intentarlo pero cayó víctima de su arrogante confianza en sí mismo.

El joven terminó haciendo muy bien la parte matemática del examen pero obtuvo notas tan malas en lenguas modernas, zoología y botánica, que suspendió el examen. Como admitió más adelante, «fue completamente culpa mía, porque no hice intento alguno de prepararme».

En ese momento, Einstein demostró ser digno hijo de su padre. Después de cada uno de sus fracasos en los negocios, Hermann Einstein nunca se daba por vencido; en lugar de eso, siempre hacía las maletas y se iba a otro sitio para empezar de nuevo. De manera parecida y a raíz de sus recientes fracasos, el vástago de Hermann Einstein decidió trasladarse al pintoresco pueblo suizo de Aarau; reanudaría sus estudios de instituto y se prepararía para un segundo intento en el examen del IFT.

Aunque su horrorosa experiencia en el Gymnasium Luitpold le había hecho detestar la escuela, Einstein se quedó agradablemente sorprendido con el sistema educativo suizo. En Aarau los maestros pasaban por alto la disciplina y malcriaban el espíritu; respondieron a la curiosidad indisciplinada e

inagotable de Einstein y a cambio él respondió «con un trabajo feliz y responsable como no se habría podido obtener de mí por medio de una reglamentación estricta por sutil que fuera».

Solo asistió un año a la escuela de Aarau pero en aquel breve tiempo, su mundo privado, que durante años se había agazapado en las sombras de la intolerancia alemana, de repente se desbordó con la ligereza de la tolerancia suiza. Se sintió liberado, vigorizado, a punto de explotar de tanta curiosidad al descubierto. «Seguro de sí —recordaría después uno de sus compañeros de clase— avanzó a grandes pasos con el *tempo* casi enloquecido característico de un espíritu inquieto que lleva el mundo dentro de sí».

Fue en este período en el que Einstein estuvo peligrosamente cerca de perder la vida durante su paseo por la montaña. En el esfuerzo de contar desde cierta distancia el número de pétalos exteriores de un edelweiss (para comprobar si era coherente con la serie de Fibonacci de la cual sabía desde hacía algunos años) aquel chico de dieciséis años había perdido el equilibrio súbitamente y casi se precipita monte abajo unas decenas de metros.

También fue durante esta época cuando empezó a formularse preguntas sobre la velocidad de la luz. Poco se daba cuenta aquel joven de que en su lucha por encontrar las respuestas tendría que enfrentarse a una comunidad científica no menos imponente ni intimidatoria que los mismísimos Alpes suizos.

Sin desalentarse de momento, Albert Einstein se graduó en el instituto el 5 de septiembre de 1896. Lleno de energía y de optimismo, se fue de Aarau a Zurich donde volvió a hacer el examen de acceso al IFT, pasándolo en esa ocasión.

Sintiéndose más libre que nunca en dar rienda suelta a su curiosidad, Einstein sacó partido del ambiente relativamente relajado del IFT. Solía dejar sin hacer los trabajos que se le pedían, y prefería en cambio emplear muchas horas leyendo libros cada vez más técnicos, entre ellos los que describían los trabajos de Faraday sobre la electricidad y el magnetismo y la teoría de Maxwell de las ondas electromagnéticas, tema al que consideraba «el más fascinante del momento».

Conforme iba leyendo se volvía más arrogante, expresando su desprecio por la gente normal y sus vidas «incultas». Sobre todo, denigraba a los profesores que le obligaban a cumplir su deber.

«De hecho, es un grave error creer que el disfrute de ver y de investigar puede promoverse por medio de la coerción —diría Einstein más tarde—. Por el contrario, creo que sería posible quitarle incluso su voracidad a una saludable bestia de presa… con la ayuda del látigo para que comiera continuamente incluso sin tener hambre».

Einstein se molestaba por tener que presentarse a los exámenes finales al término de cada semestre. «Había que meterse todo aquello en la cabeza para los exámenes —decía—, te gustara o no».

«No se recataba de dar sus opiniones ofendieran o no», recordaría con el tiempo un conocido. Desgraciadamente para Einstein, sus sinceras quejas *sí* ofendían a los demás la mayor parte de las veces, sobre todo a sus profesores.

Por ejemplo, durante una salida al campo, su profesor de geología llamó a Einstein para explicarle las formaciones rocosas junto a las que estaban.

—Y bien Einstein, ¿cómo van los estratos aquí? ¿De arriba abajo o de abajo arriba? —le preguntó el profesor.

Einstein se encogió de hombros y dijo:

—Me importa un rábano si van para un lado o para otro, señor profesor.

Para empeorar las cosas, también consiguió ofender a sus padres (que estaban en Milán) enamorándose de Mileva Marić, una joven serbia a la que ellos desaprobaban absolutamente. «Te estás arruinando el futuro y quedándote sin oportunidades; ninguna familia decente la aceptaría», le suplicaba su madre.

Einstein y Marić se habían conocido en su primer año de estudios, después de lo cual Einstein se había mostrado exultante por haber encontrado «a una criatura que es como yo, ¡e igual de fuerte e independiente que yo!». Después de la física, era lo que más quería en el mundo y solía escribirle coplillas afectuosas como la siguiente:

¡Ay de mí! ¡Pobrecillo de mí!
Tan loco de deseo
que al pensar en su mocita
se prendió fuego a la almohada.

Hasta el 27 de julio de 1900, aquella pareja enamorada parecía destinada a una vida de felicidad y de éxitos. Sin embargo, aquel día, una vez terminado el curso y realizado el examen final que exigía la universidad, cada cual recibió sus resultados.

La carta que recibió Einstein le daba una maravillosa noticia: había aprobado el examen final y había obtenido su diploma. Sin embargo, la carta de Marić tenía la peor de las noticias: había suspendido, con buenas notas en física pero no en matemáticas.

Como añadido a los infortunios de la pareja, Einstein tuvo que pagar muy caro sus años de independiente insolencia. Había sacado lo que equivalía a un 3,3 de media y tenía todo el derecho del mundo a esperar que el profesorado del IFT le ofreciera un puesto de docente; pero no recibió tal invitación. Por el contrario, hubo profesores que hicieron campaña en contra para torpedear cualquier posibilidad de empleo. «Me vi abandonado por todos de repente —recordaría Einstein en años posteriores— convertido en un paria, descartado y poco querido».

Para el joven y presunto científico, el inicio del nuevo siglo fue penoso y desesperante. Por el contrario, la ciencia entraba en los cien próximos años llena de confianza y de grandes esperanzas… y con buenos motivos.

A lo largo de los dos milenios anteriores, la ciencia había tenido éxito en general en la resolución de los misterios esenciales inherentes a la descripción del mundo físico de los antiguos griegos; como resultado, cada uno de los elementos antiguos, tierra, aire, fuego y agua, era tema en ese momento de una próspera disciplina científica. En los años anteriores, la ciencia incluso había conseguido atar dos cabos importantes relativos a la edad de la Tierra y a la fuerza electromagnética.

Hacía cuatro años, en 1896, que el científico francés Antoine Henri Becquerel había descubierto unas emisiones invisibles de alta energía procedentes de la mena de uranio. Al poco tiempo, el equipo formado por el matrimonio Marie (*née* Sklodowska) y Pierre Curie, había descubierto unas emanaciones similares procedentes de dos elementos anteriormente no conocidos a los que llamaron *radio* y *polonio*.

Como aquellas emisiones tenían todos los síntomas de ser un fenómeno *espontáneo* (nadie había hecho nada para provocarlo) daba la impresión de que la ciencia se había topado con una fuente gratuita de energía. Y asimismo el descubrimiento había parecido insuflar nueva vida a los

batalladores darwinistas.

Teniendo en cuenta el calor que emanaba de estos nuevos elementos de la Tierra, los científicos habían recalculado sus estimaciones acerca del enfriamiento de la Tierra. Aun siendo todavía conjeturas poco comprobadas, algunas de sus conclusiones indicaban que el planeta *habría podido* ser habitable hacía el tiempo suficiente como para que la selección natural hubiera conformado la vida.

El otro cabo suelto había quedado atado hacía tres años, en 1897, cuando el científico británico Joseph John Thomson descubrió una partícula todavía más diminuta que el átomo; se llamó *electrón* y resultó ser la tan buscada fuente de la fuerza electromagnética de Faraday; los científicos se mostraban confiados en que esta partícula subatómica pudiera también explicar las inescrutables emisiones que irradiaban libremente del uranio, del radio y del polonio.

En un discurso pronunciado a finales de siglo, el científico irlandés William Thomson se congratulaba de que la ciencia hubiera conseguido tan maravillosa comprensión del mundo. Fanfarroneaba diciendo que lo único que faltaba era una especie de faena de aliño que sería poco más que «añadir unos pocos decimales a los resultados ya obtenidos».

Sin embargo, Thomson se había olvidado de mencionar el misterio todavía sin resolver que rodeaba al *quinto* elemento de los griegos, el éter, una sustancia quintaesencial de la que se suponía que estaban hechos los cielos. Además, no tenía ni idea de que acechando en el horizonte de la ciencia aparecía una nubecilla oscura llamada Albert Einstein; solo cinco años después, descargaría un chubasco sobre los animosos pronósticos de Thomson y una tormenta arramblaría con la mezquina descripción científica del cosmos hasta entonces vigente.

VIDI

La luz es algo tan esencial de la vida humana que la mayor parte del cerebro está dedicada exclusivamente a la interpretación de la información visual. Más del 60 por ciento de lo que conocemos, según estiman los psicólogos cognitivistas, es consecuencia directa de lo que hemos visto; o dicho de otro modo, de no ser por la actuación de la luz, seríamos un 60 por ciento menos instruidos de lo que hoy somos, lo cual nos volvería a situar más o menos donde estábamos en la llamada Edad Oscura.

La mayoría de lo que aprendemos a través de nuestros ojos se refiere al *espacio* y a la *materia*, los dos aspectos más tangibles de nuestra realidad. Con solo mirar, con la ayuda de telescopios y de microscopios, somos capaces de conocer el tamaño del universo y el tipo de materia que contiene.

Con nuestros demás sentidos podemos completar los detalles. Por ello, en último extremo tomando nota cuidadosa y sistemáticamente de sus aspectos, sonidos, texturas, sabores y olores, somos capaces de conocer muchísimo sobre el mundo natural a nuestro alcance.

Sin embargo, e incluso con la ayuda de los cinco sentidos, nosotros, *Homo sapiens*, no estamos dotados para aprehender claramente *tiempo* y *energía*, los dos fenómenos más *intangibles* del universo. A diferencia del espacio y de la materia, tiempo y energía no son en sí ni visibles ni perceptibles; ciertamente, la única forma en que nos son cognoscibles es a través de los efectos palpables que tienen sobre el espacio y la materia.

Por ejemplo, con el paso del tiempo, las cosas espaciales tienden a cambiar de forma (como un globo que pierde aire y que se deshincha lentamente) y las cosas materiales envejecen. Observando

esos fenómenos temporales somos capaces de *inferir* lo que debe ser el tiempo en sí.

Lo mismo vale para la energía. Tiene el poder de transformar el espacio y la materia de variadísimas formas, por ejemplo, por medio de una explosión; observando tales cambios, somos capaces de adquirir una comprensión intuitiva de lo que debe ser la energía en sí.

Hasta el siglo XIX, los científicos creían que no seríamos capaces nunca de percibir el tiempo y la energía independientemente del espacio y la materia. Por así decir, la *pura* energía y el *puro* tiempo se creían tan imperceptibles como la personalidad *pura*, esto es, ¡una personalidad no ligada a una persona!

Sin embargo, y sorprendentemente, y a pesar de las severas limitaciones de nuestros sentidos, los filósofos han sido capaces de conjeturar relativamente bien el comportamiento de los cuatro fenómenos. De hecho, en la época en que nació Einstein los científicos habían puesto a punto una teoría clarividente y coherente del universo basada únicamente en espacio, tiempo, materia y energía.

Por ejemplo, por opuestos que fueran, espacio y tiempo parecían compartir al menos un rasgo importantísimo: eran absolutos en el sentido de que todo el mundo y en todas partes los veía de la misma manera. El centímetro de una persona era el mismo centímetro de otra; el segundo de una persona era el mismo segundo de otra, y así sucesivamente.

Según esta teoría del cosmos, las personas nunca se mostraban en desacuerdo en lo relativo a la longitud, la anchura o la profundidad de cualquier objeto del espacio o sobre la duración de cualquier cosa temporal. En ese sentido, el espacio y el tiempo absolutos de la ciencia decimonónica eran como las normas morales universales según las cuales todo el mundo estaba de acuerdo en lo que estaba bien y en lo que estaba mal.

Ese estricto código moral parecía incluir también la velocidad, definida por la conocida fórmula:

$$\textbf{velocidad} = \frac{\textbf{distancia recorrida}}{\textbf{tiempo transcurrido}}$$

Por ejemplo, los pasajeros que fueran en dos trenes colocados paralelamente en una estación podrían verse confundidos súbitamente si uno de los trenes arrancara, muy lenta y suavemente. ¿Cuál de los dos se movía?, podrían preguntarse los pasajeros que se miraran por la ventanilla al ser incapaces de notar traqueteo alguno en los asientos.

La ciencia creía que, pese a esa momentánea confusión, los pasajeros se darían cuenta enseguida de cuál de los dos trenes se movía y cuál seguía parado: si no fuera por alguna sutil clave sensorial (como por ejemplo, verse presionados contra los asientos) sí entonces por hacer algún tipo de experimento (por ejemplo, comprobando si rodaban o no unas canicas por el suelo del vagón).

En principio, el movimiento de un tren era *absolutamente distinguible* del movimiento del otro. En otras palabras: cuando se trataba de juzgar la velocidad, en último extremo no había discrepancias. Lo mismo que con el espacio y el tiempo, la ciencia creía que la *velocidad* era absoluta y no relativa.

Lo absoluto de la velocidad puede ilustrarse imaginando una nave espacial llamada *Expreso Estelar* que navegara por el espacio exterior. Digamos que hay tres turistas que la ven, dos de los cuales viajan a bordo de naves propias, una *acercándose* al *Expreso* a un metro por segundo y la otra *alejándose* a esa misma velocidad. Pongamos que la tercera persona observa cómodamente desde la ventanilla de una estación espacial cerca de allí.

Supongamos que para el turista de la estación espacial, la velocidad del *Expreso Estelar* sea de 100

metros por segundo (360 kilómetros por hora). Por tanto, para la persona que se *acerca* a la nave a un metro por segundo la velocidad del *Expreso* sería de 101 metros por segundo (la velocidad de la nave *más* la propia velocidad del turista). Finalmente, para la persona que se *aleja* de él, la velocidad del *Expreso* sería de 99 metros por segundo (la velocidad de la nave *menos* la propia velocidad del turista).

Según la creencia de la ciencia sobre lo absoluto del espacio y del tiempo, estas discrepancias serían ilusorias. Los tres turistas estarían de acuerdo sobre la velocidad de la nave una vez que tuvieran en cuenta sus respectivos movimientos distintos en relación al *Expreso Estelar*; es decir, a largo plazo todos ellos estarían de acuerdo en que la velocidad del *Expreso* sería de 100 metros por segundo.

Se creía que eso mismo era cierto en el cálculo de la velocidad de *cualquier* objeto o fenómeno. Si los tres turistas estuvieran observando la luz de las estrellas en lugar de una nave espacial, seguirían llegando a la misma conclusión; todos ellos medirían velocidades ligeramente diferentes pero después de tener en cuenta sus propias velocidades todos se mostrarían absolutamente de acuerdo en que la luz viaja a 300.000 kilómetros por segundo.

Por no pasarlos por alto, el otro par de opuestos, materia y energía también parecían tener por lo menos una cosa en común: ambos eran indestructibles y ambos parecían obedecer a leyes de conservación que rezaban así: «La materia no puede crearse ni destruirse, de modo que el total del peso del universo es siempre el mismo; y lo mismo la energía, que no puede crearse ni destruirse, de manera que el total de la energía del universo es siempre el mismo». (*Véase* «Una experiencia nada provechosa»).

Podría parecer que la materia podía destruirse, del mismo modo que cuando se quema leña y lo único que queda son cenizas. Pero los científicos habían llegado a la convicción de que en esos casos la materia simplemente se transformaba, no se destruía; es decir, el fuego transformaba la madera de celulosa en carbón, además de originar una enorme cantidad de gases de humo: pero al final el peso total de los materiales quemados era el mismo que el del tronco original.

Y lo mismo para la energía. Así como había diferentes clases de monedas (pesetas, duros, perras gordas y chicas, reales) había diferentes clases de energía (térmica, acústica, cinética, y así sucesivamente). Y de la misma manera que era posible cambiar, por ejemplo, un duro por cinco pesetas, la naturaleza permitía constantemente que la energía de un tipo se transformara en otras energías de igual valor.

Por ejemplo, la energía cinética era la energía del *movimiento*. En el lenguaje de las matemáticas, en la que *m* era la masa de un objeto y *v* su velocidad, la fórmula era sencilla:

$$\text{ENERGÍA CINÉTICA} = m \times 1/2\, v^2$$

Es decir, un objeto ligero y lento como un corcho que flota suavemente río abajo tenía muy poca energía cinética; por contra, un objeto masivo y rápido como una roca despeñándose por la ladera de una montaña tenía una enorme energía cinética. (*Véase* «Entre una roca y una dura vida»).

Si el peñasco se topaba con un árbol en su caída, parte de su energía cinética se transformaba en energía mecánica (que servía para derribar el árbol) y parte en energía acústica (que producía un ruido retumbante). Con la escasa energía cinética que le quedara seguiría cayendo montaña abajo un poco más despacio. ¿Y al final? Al final, la suma de las energías mecánica, acústica y cinética residual sería

igual a la cantidad *originaria* de energía cinética del peñasco.

Una vez provistos con esta bien organizada teoría del universo, los científicos afrontaron entonces el formidable trabajo de decidir dónde encajaba la luz. Era un tópico que siempre se les había resistido y fundamentalmente porque la luz se comportaba de manera bien diferente de todo lo demás.

La luz parecía ser capaz de ir de un sitio a otro *instantáneamente*, como si estuviera exenta de las leyes de la existencia terrestre y ordinaria. Aunque extraño, su comportamiento era decididamente fantasmal: la luz podía pasar indemne a través de materiales sólidos del tipo del vidrio.

Durante millares de años, los filósofos habían defendido, de Aristóteles a Newton, la idea de que la luz consistía en diminutas partículas. Razonaban que, al igual que las luciérnagas microscópicas, esas motas de luz las emitían o las reflejaban los objetos enviándolas a nuestros ojos; supuestamente así era cómo veíamos.

Supuestamente aquellas motas imponderables de luz eran capaces de moverse con tanta viveza que parecían instantáneas y no tenían dificultad en atravesar sólidos. Newton, además, había explicado que estas pizcas de diverso tamaño afectaban al ojo «según su tamaño y su mezcla… las más grandes [se asociaban] con los colores más fuertes, rojos y amarillos; las menores con los más débiles, azules y violetas».

Con el peso de la ilustre reputación de Newton a sus espaldas, esta visión de la luz se había considerado muy seriamente, incluso religiosamente. Sin embargo, el 13 de junio de 1773 nació en Londres alguien que iba a arrojar la oscura sombra de la sospecha sobre tan venerable teoría.

Se llamaba Thomas Young y aunque antecedió a Einstein en más de un siglo, también estaba movido por una curiosidad sobrenatural sobre el mundo natural. Además, y como Einstein, era un luchador marginado y apartado destinado a batallar con el estamento científico de su época.

Resulta irónico que, de niño, Young no pudiera ser más distinto de Einstein. Aprendió rápidamente todo: a hablar, a leer, a estudiar; por ejemplo, cuando tenía dieciséis años Young se expresaba con fluidez en nueve lenguajes, entre ellos el de las matemáticas.

Young se convirtió en médico además de ser científico aficionado. A los veintiséis años se atrevió a sugerir que la luz consistía en ondas y no en partículas y que «los colores de la luz consisten en las diferentes frecuencias de vibración».

Las ondas con pliegues más abiertos (aquellas cuya forma parece la de unos surcos suaves, unos tras otros) eran las que hacían que los ojos vieran el rojo. En el extremo opuesto, las ondas cuya forma parecía un cartón ondulado con pliegues muy pequeños eran las que creaban la impresión de violeta.

Para sus adentros, Young comparaba las ondas de luz con las ondas que se producen en un estanque. Cuando dos olas se juntaban de frente, en lugar de chocar pasaban una por encima de otra de una manera fantasmal, al igual que dos rayos de luz; lo cual, en su opinión, era motivo suficiente para no creer en la teoría de las partículas de Newton.

En 1799, después de haber hecho algunos brillantes experimentos que parecían confirmar su hipótesis, Young decidió hacerla pública. Llevaría su caso al mismísimo corazón del estamento científico, la Real Sociedad de Londres; era el sanctasanctórum de la ciencia inglesa que contaba con el propio Isaac Newton entre sus más ilustres antiguos alumnos.

Ni Newton ni su sombra habrían hecho sin embargo un mejor papel en desmerecer la insubordinación de Young que los miembros de la sociedad de esa época. Uno de ellos, Henry Brougham, fue especialmente imperioso: se mofó diciendo que la teoría ondulatoria propuesta por Young «carecía de todo tipo de mérito» y por ello «desechamos… las frágiles elucubraciones de su

autor, en las que sin éxito hemos buscado algunas trazas de conocimiento, de agudeza y de ingenio».

Era la primera vez en su distinguida carrera profesional que el doctor Young recibía tal rapapolvo. Como poco, se sintió humillado pero no se desanimó.

En años sucesivos volvió a su interés en los idiomas y consiguió no pocas cosas. En cierto momento se convirtió incluso en una especie de auténtico Indiana Jones ayudando a descifrar los jeroglíficos tallados en la famosa piedra de Rosetta, desenterrada en el norte de Egipto en el año 1799.

A principios del siglo siguiente, cuando cada vez había más pruebas opuestas a la teoría de las partículas, se fueron sumando a la teoría ondulatoria de la luz más y más científicos. Algunos se acordaron de reconocer la originaria idea de Young aunque otros muchos no; sin embargo, cuando murió el 10 de mayo de 1829, Young ya había tenido la satisfacción de que por fin se hubiera vengado su anterior humillación.

Además, en 1864, se había añadido una nueva sugerencia a la teoría ondulatoria: como resultado de su trasteo con ecuaciones sobre electricidad y magnetismo, el científico escocés James Clerk Maxwell descubrió que estas predecían la existencia de *ondas electromagnéticas* que viajaban a una velocidad sorprendente: aproximadamente, 300.000 kilómetros por segundo.

La coincidencia era que, en efecto, esa era la velocidad de la luz; no exactamente instantánea, como los antiguos habían creído, pero sí suficientemente rápida como para que lo pareciera. En consecuencia, Maxwell dio el salto sin más a la conclusión de que sus hipotéticas ondas electromagnéticas y las ondas luminosas de Young tenían que ser la misma cosa.

La conjetura matemática de Maxwell se confirmó en 1888 cuando el físico alemán Heinrich Hertz utilizó un generador de chispas gigante para producir una efusión de ondas electromagnéticas. Según la Biblia, Dios había sido el primero en crear ondas luminosas; también ahora lo había conseguido Hertz.

A lo largo de lo que quedaba del siglo XIX, se impuso la teoría ondulatoria electromagnética de la luz de Young y Maxwell. Liquidó muchas cuestiones sobre el hasta entonces desconcertante comportamiento de la luz, pero también creó un nuevo misterio: ¿Cómo eran estas ondas capaces de viajar a través del perfecto vacío del espacio, ya que era seguro que así ocurría porque de otro modo la luz de las estrellas no podría llegar hasta la Tierra?

Por contra, las ondas sonoras no eran capaces de semejante cosa. En un experimento bien conocido, cuando se cubría un reloj con una campana de cristal se seguía oyendo su tictac. Cuando se hacía el vacío dentro de la campana, sin embargo, el reloj se quedaba silencioso siendo incapaces sus ondas sonoras de atravesar la nada que lo rodeaba.

En resumidas cuentas, las ondas necesitaban algún material por el cual viajar: las ondas sonoras viajaban por el aire, las ondas marinas viajaban por el agua y las ondas de las alfombras viajaban por las alfombras. Así que ¿cómo era posible que las ondas luminosas (las ondulaciones electromagnéticas) viajaran por el vacío del espacio exterior?

Los científicos conjeturaban que las ondas luminosas viajaban por medio de un agente material que no era fácilmente detectable, una especie de *éter* invisible que lo llenaba todo, tal como lo denominaban. Este éter debía ser inodoro, incoloro y sin densidad; y sin embargo, debía permitir que las ondas luminosas viajaran de un lugar a otro. ¡Muy apropiado!

En 1881 el estadounidense Albert Michelson y el británico Edward Morley, ambos físicos, iniciaron una serie de extraordinarios experimentos con los que esperaban detectar el aparentemente indetectable éter. Se apoyaban en una idea: como la Tierra giraba en torno al Sol a 30.000 metros por

segundo (108.000 kilómetros por hora) era de esperar que causara una estela medible de éter si es que aquel invisible componente existía realmente.

Michelson y Morley se propusieron medir la velocidad de la luz en dos direcciones diferentes: *a lo largo* de la estela y *a través* de la estela. En otras palabras: compararían un rayo de luz que se moviera *en la dirección* de la órbita de la Tierra con otro rayo que se moviera *atravesando* la órbita.

Era como si se propusieran detectar una corriente invisible de aire (por ejemplo, la estela de un reactor) observando la velocidad de un avión en dos direcciones diferentes. Para un avión que volara de oeste a este, la estela actuaría como un viento de cola de modo que la velocidad del avión se *incrementaría* hacia delante de manera medible. Por el contrario, para un avión que volara de norte a sur la estela actuaría como un viento cruzado que desviaría la ruta general hacia el este pero dejaría *inalterada* su velocidad hacia delante.

Aplicando esta misma lógica a sus dos rayos de luz, Michelson y Morley sabrían si había una estela de éter (una corriente etérea) si un rayo aparentaba (midiéndolo) ir más deprisa que el otro. De no ser así ¿cómo podría explicarse tal discrepancia?

Para evitar cualquier interferencia de las corrientes de aire, Michelson y Morley colocaron su fuente de luz y fantástico velocímetro en el interior de una cámara de vacío herméticamente sellada. Por extraño que nos pueda parecer, aquellos científicos creían que incluso quitando todo el aire del recipiente quedaría el éter, omnipresente e invisible; nunca podría eliminarse. Los dos científicos razonaron consecuentemente que su aparato solo se vería influido en ese momento por la estela etérea agitada en el interior de la cámara de vacío por el movimiento de la Tierra en torno al Sol.

Una vez terminados los preparativos, Michelson y Morley llevaron a cabo su experimento y todo fue bien… excepto los resultados. Para total sorpresa y decepción de los científicos su velocímetro no había detectado absolutamente ninguna diferencia entre las velocidades de los dos rayos.

Sin embargo, la suya era una tarea llena de sutilezas y su equipo era delicado; por ello, después de hacer varios ajustes, los dos físicos probaron de nuevo. Pero seguía sin haber nada: la velocidad de la luz en el vacío ¡parecía ser exactamente la misma en ambas direcciones!

Michelson y Morley siguieron intentando detectar repetidas veces el éter durante los siguientes *veinte* años. Lo intentaron de día y de noche, en todas las estaciones del año; tantearon con sus aparatos e intentaron orientar los rayos de luz en todas las direcciones posibles pero siempre, siempre, la velocidad de la luz en el vacío era la misma: 300.000 kilómetros por segundo. El esfuerzo más prodigioso de toda la historia para detectar la ineludible estela del éter había terminado en lo que parecía ser el velatorio del éter.[9]

El enigma de estos resultados nulos hizo que los científicos se remontaran al punto del que habían partido: si la luz consistía en ondas y no había éter, entonces ¿cómo era capaz la luz de viajar por el vacío? La respuesta obvia era que las leyes conocidas de la física tenían algún fallo… o bien que había que prescindir de la teoría ondulatoria de la luz.

En lugar de entregarse a cualquiera de aquellas temibles posibilidades, la ciencia del siglo XIX se volvió instintivamente a sus queridas nociones de espacio, tiempo, materia y energía. En ellas, declararon los científicos con confianza, encontrarían una salida a la cuestión; y sin embargo, en vez de eso sacaron a la luz otros dos problemas, los cuales ponían en tela de juicio su creencia en la velocidad absoluta de la luz.

En el siglo pasado Michael Faraday había demostrado que, como por arte de magia, un imán en movimiento era capaz de originar una corriente eléctrica a través de un cable cercano; de manera

sorprendente aquel sencillo descubrimiento había posibilitado la era de la electricidad, en este momento en plenitud de desarrollo y con las bombillas de Thomas A. Edison iluminando las ciudades y los hogares de todo el mundo. (*Véase* «Cuestión de clase»).

¿Y qué ocurriría si se movía el *cable* del experimento de Faraday en lugar de moverse el imán?, se habían preguntado los científicos. ¿Se seguiría produciendo electricidad? Pues sí, según habían descubierto; innumerables experimentos habían ilustrado que la electricidad se creaba de ambas maneras. En otras palabras: el efecto mágico siempre se producía, siempre que el cable y el imán se movieran uno *en relación* con el otro.

Este comportamiento bien documentado de los alambres y los imanes que se movían creaba un problema a la ciencia porque estaba en contradicción con su creencia bien conocida de que el movimiento era *absoluto* y no relativo. Según tal creencia, había una abismal diferencia entre que se moviera el imán o el cable: la electricidad debería producirse solo cuando el imán se movía en relación al cable; no debería ocurrir absolutamente nada cuando el cable se movía en relación al alambre.

El segundo problema científico se podía remontar hasta 1851, cuando el filósofo francés Armand Fizeau descubrió que distintos hipotéticos observadores que se movían veían desplazarse la luz aparentemente con la misma velocidad. Y se supone que *no* era así como tenía que ser.

En el ejemplo ortodoxo del *Expreso Estelar*, la luz de las estrellas aparentaba moverse a *diferentes* velocidades para los distintos turistas; solo después de que cada cual tuviera en cuenta sus propios movimientos individuales era cuando se mostraban absolutamente de acuerdo sobre la velocidad de la luz: una especie de ejemplo del proverbio «todo está bien si acaba bien».

En el sorprendente experimento de Fizeau, lo que ocurría era justamente lo contrario. Por así decir, los turistas estaban de acuerdo en la velocidad de la luz desde un principio, incluso antes de hacer sus ajustes individuales, lo cual quería decir que era después cuando discrepaban; en otras palabras, al final la ciencia se quedaba con unas diferencias de opinión que no había manera de resolver.

Claramente los desconcertantes experimentos de Michelson-Morley, Faraday y Fizeau se conjuraban para indicar que algo faltaba en la noción que la ciencia tenía de la velocidad; y como la velocidad se definía nada más que como «distancia dividida por tiempo» los experimentos también sugerían la posibilidad de que algo estuviera equivocado en la noción que la ciencia tenía de la distancia y el tiempo.

En otras palabras: estos resultados experimentales tenían en sí el potencial de destruir los mismísimos cimientos de la ciencia tradicional; sin embargo, al ingresar en el siglo XX los científicos prefirieron considerarlos como flecos relativamente poco importantes que podían resolverse con facilidad. Y sin embargo, estaban equivocados de medio a medio, y un don nadie engreído y sin empleo llamado Albert Einstein estaba a punto de demostrárselo.

VICI

En el verano de 1902 las cosas empezaban a irle mejor a Einstein. Su antiguo compañero de clase Marcel Grossmann le ayudó a conseguir empleo como experto técnico de tercera clase en la oficina suiza de patentes en Berna; en aquel empleo Einstein sería el responsable de juzgar los méritos de los inventos de la gente.

Puede que no fuera muy atractivo pero le recordó a su tío Jakob, el inventor de quien había heredado un impulso juguetón de descubrir cómo funcionaban las cosas. Y lo mejor de todo era que todos los días, después del trabajo, tendría, según sus propias palabras, «la oportunidad de pensar en la física».

Einstein había recorrido un largo camino desde aquel día en que, con cinco años, se vio sorprendido por el funcionamiento de una sencilla brújula. En los últimos años había empezado a pensar profunda y críticamente en el magnetismo y su *alter ego*, la electricidad.

Como otros científicos, le molestaba la ominosa discrepancia entre el *relativismo* del experimento electromagnético de Faraday y el *absolutismo* de las ideas científicas sobre el movimiento. «Aquí el fenómeno observable depende solamente del movimiento relativo entre conductor e imán —anotaba con incredulidad—, mientras que el punto de vista oficial introduce una clarísima distinción entre ambos casos».

A diferencia de los científicos académicos, el joven marginado se veía poco inclinado a desechar tal disparidad. Lo que es más: se daba cuenta de que la creencia de la ciencia en el movimiento absoluto era el resultado de su creencia profundamente arraigada en lo absoluto del espacio y del tiempo; en consecuencia, ahí no estaba en juego solamente un experimento electromagnético sino la mismísima esencia de la descripción que la ciencia hacía del universo.

Cuanto más lo pensaba Einstein más cerca estaba de llegar a la conclusión de que esa discordancia palmaria estaba conectada, no sabía cómo, con aquella otra incoherencia desconcertante: la de que Michelson y Morley hubieran fracasado en descubrir el supuesto éter. También tenía la impresión de que las dos cosas estaban conectadas con su vieja fantasía infantil de ponerse a la par de una onda luminosa, que era como decir una ondulación electromagnética.

Dicho de otro modo, Einstein llegó al convencimiento de que las dos preguntas que la ciencia no había respondido (¿Por qué parece que la naturaleza se comporta de una manera relativista?, y ¿Cómo consiguen viajar las ondas luminosas en el vacío?) estaban relacionadas con aquella peregrina pregunta juvenil (¿Es posible ponerse a la par de una onda luminosa para ver verdaderamente cómo es?). El misterio consistía en averiguar cuál era aquella conexión.

Después del trabajo diario, aquel modesto funcionario de patentes se aplicaba perseverantemente a la tarea que tenía ante sí. Cuando necesitaba descansar, el joven detective se acercaba al café Bollwerk y presentaba sus ideas a un puñado de amigos que se llamaban a sí mismos Academia Olimpia; allí, hasta altas horas de la noche discutían sobre la física de la luz.

La única diversión no científica de Einstein durante esa época fue su relación amorosa con Mileva Marić. En enero de 1902, ella y Einstein tuvieron una hija llamada Lieserl a la que dieron en adopción en secreto; el mundo no lo sabría hasta 1986… ni tampoco volvería a oír hablar de Lieserl.

El 6 de enero de 1903, Einstein y Marić se casaron por fin. En agosto, la joven estaba embarazada nuevamente y preocupada por la reacción de Einstein ante la idea de tener que mantener a una persona más con su magro salario de funcionario. «No me molesta en absoluto que la pobre mocita esté incubando otro pollito —le contestaba Einstein en una nota—. Lo cierto es que me hace feliz».

Desgraciadamente el matrimonio no duraría mucho porque aunque Einstein tendría dos hijos, sus energías vitales estaban dedicadas a procrear una revolución científica y no una familia. Lo cierto es que en 1904 estaba listo y más que decidido a modernizar nuestra comprensión del universo físico.

Para empezar, y para poder ser coherente con el comportamiento relativista del fenómeno electromagnético de Faraday, Einstein prescindió de la noción de espacio y tiempo absolutos. En su

universo, esas cualidades serían *relativas* en el sentido de que las personas *no* necesariamente tenían que calcular la distancia y el tiempo del mismo modo.

En otras palabras, según esta nueva teoría, la gente no siempre estaría de acuerdo en cuanto a la longitud, la anchura y la profundidad de las cosas espaciales, o en la duración de las cosas temporales. En tal sentido, el espacio y el tiempo relativos del universo hipotético de Einstein eran como medidas subjetivas: cada cual tenía su opinión diferente sobre lo que veía, sin manera absolutamente científica de resolver sus discrepancias.

Llegado a este punto, un horrorizado Einstein se detuvo a reconsiderar adónde se dirigía con semejantes ideas. Le perturbaba pensar que el universo pudiera ser tan anárquico… tan carente de objetividad como una habitación llena de críticos de arte; conjeturaba, ciertamente, que debía haber leyes que pusieran orden y razón en aquel imaginado caos de opiniones.

Después de buscar tales leyes, Einstein terminó por encontrarlas… en el experimento de Fizeau, por si fuera poco. Según sus resultados desconcertantes, la velocidad de la luz aparentaba ser la misma para las personas que se movían a distintas velocidades; solo después de que los observadores sumaran o sustrajeran su propia velocidad a lo que habían observado era cuando discrepaban irrevocablemente en cuanto a la velocidad de la luz.

Recordaba al antiguo chiste del paciente que se quejaba al médico de que siempre le dolía el brazo al flexionarlo. «¡Pues deje de flexionar el brazo!», le aconsejaba sabiamente el médico. Pues bien, de manera parecida y para curar el problema de Fizeau, Einstein decidió aconsejar a los observadores que se peleaban que dejaran de utilizar las viejas reglas absolutas de espacio y de tiempo.

Las nuevas normas se basarían en la idea, tal y como se desprendía del experimento de Fizeau, de que la velocidad de la luz aparentaba ser la misma *para todos y en todas partes*. Por ello, aunque fantaseaba con un universo en el que el espacio y el tiempo fueran relativos, Einstein en realidad estaba reemplazando una noción absoluta por otra que no lo era menos.

Afirmando lo absoluto, la constancia inviolable de la velocidad de la luz, el joven revolucionario fue capaz de deducir las extrañas y nuevas normas que regían en su novedoso universo. No era fácil aceptar esas nuevas normas en la medida en que desafiaban el sentido común, pero eran relativamente fáciles de comprender.

En el universo de Einstein, en principio todo cambiaba sobre cualquier situación en la que se vieran envueltos los turistas que observaban el *Expreso Estelar* o *cualquier otro* fenómeno corpóreo: nunca podrían ponerse de acuerdo en las velocidades sencillamente porque no tenían un modo *absoluto* de decidir quién se movía y quién estaba en reposo.

La mayor diferencia con el punto de vista ortodoxo era la relativa a los turistas que observaban la *luz estelar*, es decir, las ondas electromagnéticas de cualquier tipo. En ese caso, era como si los movimientos de los propios turistas se redujeran a cero, como corredores que corrieran sobre una cinta sin fin, sin moverse del sitio. Sin tener en cuenta sus respectivos movimientos (por así decir, las lecturas de los velocímetros de sus cintas sin fin) su velocidad en relación con un rayo de luz siempre parecía ser la misma: 300.000 kilómetros por segundo.

Había otra manera de ver esta constancia misteriosa, como Einstein se dio cuenta. Era como si la percepción de los diferentes turistas del espacio y del tiempo cambiara de acuerdo con sus movimientos individuales, de tal manera que la velocidad de la luz (y *solo* la velocidad de la luz) siempre parecía ser la misma.

Según esta interpretación, el universo de Einstein se basaba en una ilusión óptica a escala

universal cuyos efectos, los que inducían a confusión, eran universales. Independientemente de lo deprisa que se moviera una persona, su cálculo de un centímetro y de un segundo *cambiaban* también de tal manera que ¡*no se modificaba* su cálculo de la velocidad de la luz!

El efecto trae a la mente al viajero más famoso de Jonathan Swift. Si la propia altura de Gulliver hubiera cambiado durante su extraño viaje (si *hubiera encogido* en Lilliput y *hubiera crecido* estando en Brobdingnag) entonces sus impresiones sobre el tamaño de todo y de todos los que le rodeaban no se habrían modificado.

Einstein observó con complacencia que tales ajustes compensatorios podían describirse matemáticamente basándose en un único *factor de disminución*. Según descubrió Einstein, conforme una persona aumentaba su velocidad, su percepción de un centímetro y de un segundo *disminuían* en un factor que solo abarcaba dos cantidades: su velocidad v y la constante que era la velocidad de la luz c, medida en el impoluto vacío del espacio.

Expresada en términos precisos, imponía un poco:

$$\textbf{FACTOR DE DISMINUCIÓN DE EINSTEIN} = (1 - v^2 / c^2)^{1/2}$$

Sin embargo, tenía la forma conocida de un factor de disminución elemental muy familiar: $\{1-s\}^N$. (Es decir, era parecida a una frase que, salvando los detalles, se compusiera de sus elementos básicos: sujeto, verbo y predicado). En consecuencia, resultaba posible que Einstein la simplificara utilizando la receta de aproximación que había aprendido hacía muchos años:

$$\textbf{FACTOR DE DISMINUCIÓN aproximadamente igual a } 1 - 1/2\, v^2/c^2$$

En castellano corriente y moliente: alguien que estuviera en reposo ($v = 0$) no tendría ningún factor de disminución; el factor de disminución permanecería inalterable:

$$1 - 1/2\, 0^2/c^2 = 1 - 0 = 1$$

Para alguien que se moviera a la velocidad de un caracol (para quien tuviera una velocidad y muy pequeña) el factor de disminución se reduciría en una cantidad muy pequeña, como el perfume del frasco que se reducía en una pizca:

$$1 - 1/2\, v^2/c^2 = 1 - \textbf{una cantidad pequeñísima}$$

Sin embargo, alguien que se moviera muy deprisa tendría un factor de disminución que se reduciría mucho. En resumidas cuentas, cuanto más deprisa se viajara, cada vez serían menores las percepciones de un centímetro y de un segundo: correcciones subrepticias que darían como resultado el que las distintas personas, al moverse con distintas velocidades, siempre estuvieran de acuerdo en la velocidad de la luz.

Todo ello daba origen a una importante pregunta: «¿Cómo podía explicar Einstein aquella aparente distinción que la naturaleza hacía con las ondas electromagnéticas para que fueran tan especiales?». ¿Por qué en todo el vasto y amplio universo solo la velocidad de *esas* ondas parecía ser absoluta?

Einstein llegó a la conclusión de que la respuesta había que buscarla en el repetido fracaso de

Michelson, Morley y demás experimentadores en encontrar el hipotético éter. Por lo que se refería a nuestro pragmático joven, si no había *prueba* de la existencia del éter, es que no había éter, punto final.

Tal rechazo, de ser correcto, significaba que las ondas electromagnéticas eran capaces de abrirse paso de manera misteriosa por enormes trechos de espacio prácticamente vacío, carente de cualquier otro medio material; lo cual las convertía en las únicas ondas conocidas por la ciencia no conectadas inextricablemente con nada *ponderable*. En resumen: Einstein concluía que las ondas electromagnético-luminosas eran únicas en el conjunto del universo ¡porque solo ellas representaban ondas con *energía pura y sin masa*!

Por ello, no había que sorprenderse de que la ley siempre hubiera llamado la atención de los filósofos como cosa sobrenatural. Cada vez que alguno veía la luz de una estrella, de una llama o incluso de las lámparas de incandescencia de Edison, veía energía pura e incorpórea: tan fantástica, a su manera, como si se viera un alma sin cuerpo.

Durante dos mil años, de una manera o de otra, el éter había ocultado el auténtico cosmos a los meticulosos sentidos de la ciencia, pero aquello se había terminado. Con su teoría de la relatividad, Einstein había visto el universo con los ojos no empañados por la antigua neblina del éter; en consecuencia, aquel viejo elemento quintaesencial estaba a punto de quedar tan obsoleto como el concepto *absoluto* de espacio y de tiempo.

Dando vueltas a su nueva teoría, Einstein se dio cuenta de que no solo afectaba al espacio y al tiempo. El factor de disminución también se aplicaba a aquel otro par de magnitudes estrechamente relacionadas: la masa y la energía. Lo que pasaba es que las afectaba justamente al revés. Cuando aumentaba la velocidad de una persona, su masa y su energía no disminuían sino que *aumentaban* en una *cantidad inversa* al factor de disminución.

En otras palabras, en reposo los objetos materiales no experimentaban ningún cambio en su masa y energía normales. Pero siempre que se movieran despacio, su masa y su energía se incrementaban automáticamente. Conforme se movían cada vez más deprisa, su masa y su energía aumentaban muchísimo.

¿Y qué ocurría cuando los objetos materiales se movían con la misma rapidez que la velocidad de la luz, o sea, cuando v se igualaba con c? Einstein se dio cuenta de que, en tal caso, la precisa expresión (y no una mera aproximación) de su fórmula de disminución original quedaba reducida exactamente a cero:

$$\mathbf{(1 - \mathit{v}^2 / \mathit{c}^2)^{1/2} = (1 - 1)^{1/2} = 0}$$

Lo cual significaba que para una persona que viajara a la velocidad de la luz, el espacio y el tiempo (y ciertamente, todo el universo visible) parecerían *reducirse a nada*. Y todavía más, a la inversa, la masa y la energía de la persona parecerían *expandirse hasta infinito* (¡la inversa de cero es infinito!).

El incrédulo Einstein llegó a la conclusión de que ninguna de esas cosas parecía realmente posible. Por ello, y en lugar de tomárselas en serio interpretó esas transgresoras predicciones en el sentido de que su nueva teoría quería decirle algo: a saber, que era físicamente *imposible* que cualquier cuerpo material viajara igual de rápido que una onda electromagnética, o dicho de otro modo, que se pusiera a la par de un rayo de luz.

Finalmente, aquel joven de veinticinco años había topado con la respuesta a la pregunta que le había perseguido desde que tenía dieciséis: «Años de ansiosa búsqueda en la oscuridad, con su intenso anhelo, su alternancia de confianza y agotamiento hasta finalmente salir a la luz: solo los que lo han experimentado pueden comprenderlo».

Sin embargo, no se trataba de una respuesta que hubiera esperado o que le hiciera especialmente feliz. De creer su teoría, entonces los meros mortales nunca podrían ponerse a la par de una onda electromagnética en su vuelo incesante, para cogerla y volverla del revés con la esperanza de averiguar al detalle su auténtica naturaleza. Lo máximo que podría saber la ciencia sobre aquella extraordinaria manifestación de energía pura podría ser lo que sacara en claro a base de fugaces atisbos que pudiera obtener de echar, por decirlo así, alguna mirada de reojo.

Estas revelaciones ya eran suficientemente innovadoras, pero el *coup de grace* todavía no había llegado. Y lo hizo en 1904 durante una de las sesiones polémicas de la Academia Olimpia, de la mano de un diletante amigo llamado Michele Besso. «A base de un montón de discusiones con él, pude súbitamente comprender el asunto», recordaría Einstein más tarde. «Después de caer en la cuenta, la actual Teoría de la Relatividad Especial quedó completada».

Aquello de lo que Einstein se dio cuenta era lo siguiente: los científicos se equivocaban al seguir pensando en la masa y en la energía como fenómenos que, aun relacionados, fueran orgánicamente *diferentes*… como si pensáramos en dos sexos distintos de una misma especie. La ciencia ya sabía que la masa y la energía eran indestructibles y que cumplían leyes de conservación idénticas; y ahora, según había descubierto Einstein las dos se comportaban exactamente igual: es decir, las dos se expandían y disminuían en factores idénticos. Einstein llegó a la conclusión de que en todos los aspectos importantes, la masa y la energía eran *indistinguibles* e *intercambiables*. Eran como una única persona que llevara diferentes prendas o que se arreglara el pelo de manera distinta: en resumidas cuentas, eran orgánicamente idénticas.

En ciertos aspectos, este punto de vista andrógino de la masa y la energía recordaba el reciente descubrimiento de la ciencia sobre la estrecha conexión entre la electricidad y el magnetismo. En ambos casos, entonces y ahora, la imagen del mundo que se hacía la ciencia quedaba más unificada pero también era más ambigua y, por ello, menos intuitiva.

En cierto modo, ayudaba a clarificar las cosas pensar en la energía y en la masa como si fueran dólares norteamericanos y pesetas españolas, por ejemplo. Aunque su aspecto externo es muy distinto, son esencialmente la misma cosa, es decir, formas monetarias de intercambio. Además y aunque las dos divisas tienen valores diferentes existe una tasa de cambio, una fórmula que define la relación entre ambas. Entonces, y por analogía, la cuestión que afrontaba el joven Einstein era la siguiente: ¿Cuál era la fórmula de la tasa de cambio que relacionaba la masa y la energía?

Descubrió que la respuesta podía obtenerse subiendo a bordo del *Expreso Estelar* por última vez. Lo único que tenía que tener en cuenta durante aquel último viaje impulsivo era que, según su teoría, la masa del *Expreso* se incrementaría o disminuiría conforme su velocidad aumentara o disminuyera.

Por ello era bastante sencillo que si el *Expreso* tenía que aminorar su velocidad entonces su masa (representémosla por la letra M) *disminuiría* en una cantidad dada por el conocido factor de disminución de Einstein:

$$\mathbf{1 - 1/2}\, v^2/c^2$$

Einstein recordó que este factor era meramente una manera de decir que cierta cantidad quedaba disminuida en cierta fracción equivalente a $1/2\ v^2/c^2$. Si nos imagináramos un frasco de colonia de 800 mililitros reduciéndose en una fracción de ¼ entonces la pérdida sería de 800 × ¼ litros; es decir, 200 mililitros.

En nuestro caso, era la masa del *Expreso, M*, la que disminuía como resultado de la aminoración de la velocidad: disminuía en una fracción equivalente a $1/2\ v^2/c^2$. En consecuencia, y por analogía con el frasco de colonia, la pérdida de masa sería igual a $M \times 1/2\ v^2/c^2$.

En cuanto escribió aquello, el agudo ojo de Einstein se dio cuenta de la similitud entre aquella fórmula y la otra, bien conocida, sobre la *energía cinética* (la energía del movimiento) que había aprendido de joven:

$$\text{ENERGÍA CINÉTICA} = m \times 1/2\ v^2$$

La pérdida de masa del *Expreso* era matemáticamente equivalente a esa energía cinética *dividida entre* c^2:

$$\frac{\text{ENERGÍA CINÉTICA}}{c^2} = m \times \frac{v^2}{2c^2} = \text{MASA PERDIDA}$$

En esencia:

$$\frac{\text{ENERGÍA}}{c^2} = \text{MASA}$$

Por la misma razón que era correcto decir que si 6 / 2 = 3 entonces 6 = 3 × 2, entonces se seguía que:

$$\text{ENERGÍA} = \text{MASA} \times c^2$$

En la taquigrafía matemática, en la que E representaba la energía y m era la masa:

$$E = m \times c^2$$

He ahí la importantísima fórmula de la tasa de cambio que había buscado. Se quedó aliviado y también gratificado porque la relación entre la masa y la energía hubiera resultado tan sencilla, tan elegante; por extraño que fuera su universo relativista, era mucho más sencillo filosóficamente que el viejo universo.

Por ejemplo, al ser intercambiables masa y energía, la ciencia ya no tendría que trabajar con *dos* leyes de conservación. La masa podría eliminarse y convertirse en energía y por lo mismo la energía podría eliminarse y convertirse en masa. Solo el gran total de todas las energías y de todas las masas del cosmos permanecería inmutable durante todo el tiempo; es decir, ahora solo había una única Ley de la Conservación de la Masa y la Energía.

También la relación entre espacio y tiempo se había simplificado. Debido a la relatividad espacial

y temporal del universo de Einstein, la ciencia ya no tendría que distinguir entre *A moviéndose respecto a B* de *B moviéndose respecto a A*: lo único que contaba ya eran las velocidades relativas.

Además, cualquiera que temiera tener que enfrentarse a estas nuevas y extrañas normas no tendría que preocuparse. En la esfera de movimiento lento de la existencia humana, la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein tenía un efecto insignificante.

Por ejemplo, incluso a velocidades de *cientos* de kilómetros por hora el valor matemático del factor de disminución de Einstein seguía siendo muy cercano a 1, lo que significaba que las diversas aberraciones relativistas eran prácticamente indetectables: en el reino de la vida cotidiana, por tanto, el espacio, el tiempo, la energía y la masa aparentaban un comportamiento normal.

Hasta en un futuro, cuando los astronautas viajaran a la Luna a razón de 40.000 kilómetros por hora, la desviación de lo normal solo equivaldría a una minúscula *parte por billón*. En otras palabras: comparada con la de las personas de la Tierra, la impresión que un astronauta tendría de un centímetro y de un segundo sería un poquito más breve pero en una cantidad absolutamente despreciable.

Pero la noticia no era del todo buena porque, a pesar de ser tan brillante, las consecuencias de la ascensión de Einstein a los Alpes suizos de la curiosidad humana estaban preñadas de peligros desconocidos. Su teoría había vuelto a definir para siempre las relaciones espaciales y temporales entre los observadores de un nuevo y extraño universo; pero asimismo, y en cuatro breves décadas, aquella modesta ecuación sobre la masa y la energía iba a cambiar para siempre las relaciones políticas y sociales entre las naciones de un nuevo mundo inhóspito.

EPÍLOGO

Desde que Einstein descubriera que tal cosa era teóricamente posible, los científicos buscaron un modo de transformar la materia en energía. Tenazmente, los científicos persistieron en su empeño, en parte por curiosidad y en parte porque creían firmemente en la veracidad de aquella ecuación de Einstein. ¿Y por qué no? Ya habían observado la conversión de la energía en materia: un electrón que girara en el interior de un acelerador de partículas se hacía más pesado conforme se aceleraba, exactamente como había predicho Einstein.

También habían perseverado porque las implicaciones eran muy elevadas; la potencial fuente de energía era tan prodigiosa como el propio universo material. Una vez que fueran capaces de aprovecharla, predecían alegremente los científicos, el mundo dispondría de un suministro ilimitado de energía limpia y barata.

Sin embargo, hasta que llegara ese momento, seguiríamos obteniendo potencia a la manera antigua, *quemando* cosas. Por ejemplo, para generar potencia eléctrica la mayor parte de los países industrializados quemaban madera, petróleo o carbón; pero el proceso, era sumamente ineficiente, esto es, una moderna planta que quemara un montón de carbón muy rico produciría energía suficiente para mantener funcionando una bombilla tan solo unas cuatro horas.

El carbón había tardado en formarse millones de años, como resultado del enterramiento natural de plantas muertas bajo capas y capas de pesadas rocas, quedando prensadas por los inexorables movimientos del desplazamiento de los continentes de la Tierra. Al quemar un montón de carbón, las energías solar y sísmica que se habían empleado en la formación inicial del carbón se liberaban en forma de energía térmica.

Sin embargo, la ecuación einsteiniana de la masa y la energía nos prometía mayores rendimientos siempre que fuéramos capaces de descubrir el modo de convertir ese mismo montón de carbón *al completo* en energía (sin que quedaran cenizas). De hecho, un simple cálculo revelaba que tal transformación produciría suficiente energía para mantener encendida una bombilla no durante cuatro horas sino durante ¡1,68 *billones* de horas!

Al final, los científicos tardarían unas 297.840 horas (treinta y cuatro años) de duro trabajo en convertir la fórmula de Einstein en una realidad cegadora. Además, la clave de su éxito había aparecido muy a principios de siglo, poco después del descubrimiento de la radiactividad por parte de Antoine Henri Becquerel.

En aquella época, los científicos se preguntaban cómo eran capaces el uranio y otros elementos de vomitar su radiación con semejante energía. ¿De dónde procedía toda esa potencia? Los científicos empezaban a sospechar que respondiendo a esa pregunta averiguarían el secreto de cómo convertir la materia en energía.

Finalmente, a principios de la década de 1930, encontraron la respuesta. Observando el interior del átomo de uranio (es decir, utilizando aceleradores de partículas para echar una mirada sin precedentes al mundo subatómico) fueron capaces de ver cómo era de verdad un átomo.

Descubrieron que un átomo no era como una bola de billar monolítica; era un mecanismo elegante con diversas partes en movimiento. En esencia consistía en un núcleo de *protones* y *neutrones* rodeado de un enjambre de electrones… no muy diferente de una colmena con su inquieto enjambre de abejas alrededor.

Los neutrones, como su nombre indica, eran partículas extremadamente pequeñas que se comportaban como si fueran eléctricamente neutras. No se repelían entre sí; es decir, aunque se apretaran muchos neutrones unos contra otros en el interior de un núcleo atómico no hacían ningún intento por escapar.

No así los protones: a diferencia de los neutrones, estas partículas subatómicas tenían una carga eléctrica positiva. Hacía tiempo que los científicos habían descubierto que cargas similares se repelían siempre entre sí; por ello los protones se resistían de modo natural a mantenerse confinados dentro de un núcleo atómico.

Lo único que les mantenía encarcelados era una fuerza nuclear ligeramente superior (una especie de pegamento nuclear invisible) que ni siquiera funcionaba siempre. En los núcleos de mayor tamaño había demasiados protones que se repelían mutuamente como para que la fuerza pudiera retenerlos; en tales casos, algunos de los protones se las arreglaban para escaparse.

Era como intentar abrazar un montón de muelles de colchón. Inevitablemente, si el montón era demasiado grande algunos de los muelles se escurrirían y saldrían volando. Los científicos llegaron a la conclusión de que aquellos que escapaban del núcleo a alta velocidad eran precisamente los constituyentes de la radiactividad.

A tal importante revelación, siguió la invención de distintas maneras de *pesar* los núcleos inestables, radiactivos. Además, esos procedimientos meticulosos llevaron a una sorprendente observación sobre los núcleos radiactivos haciendo que el mundo avanzara un paso más en la era atómica.

Después de expulsar una partícula subatómica, según observaron los científicos, un núcleo radiactivo siempre pesaba menos en una cantidad *mayor* que la masa de la partícula que se había escapado. Era evidente que las partículas radiactivas lograban escaparse robando una parte de la masa

del *núcleo* y transformándola en energía, intercambio completamente de acuerdo con la ecuación de Einstein.

Antropomórficamente hablando era como si los protones fueran retoños de una familia cuya repulsión mutua fuera tan intensa que se hacía visible. En tal caso, se podía decir que su peso combinado era el resultado de sumar sus masas *más* lo que pesaba su tensión mutua. Por ello, cuando uno de los retoños huía la familia que quedaba pesaba un tanto menos: esa cantidad equivalía a la masa del huido *más* su parte alícuota de la tensión material que producía.

Por ello, y en cierto sentido, los científicos de los años treinta habían descubierto que la radiactividad era una manera de rebajar la tensión de un núcleo pesado y no funcional. Por ello, siguieron razonando, si el núcleo era tan grande y tan tenso como para estar al borde de una crisis nerviosa, podría ser cosa sencilla hacer que se rompiera por completo: cosechando a continuación la emisión de energía histérica que debía resultar de esa crisis.

En ese momento, y reforzados por un plan tan sumamente bien definido, los científicos volvieron su mirada al uranio. Extraído de la pecblenda, el elemento uranio representaba el átomo más grande descubierto en la naturaleza; su núcleo se componía de noventa y dos irascibles protones luchando por desprenderse.

Pero ¿cómo se hacía eso de fragmentar un núcleo? Hasta en el caso de un núcleo tan «grande» como el uranio la tarea parecía requerir unas herramientas impensablemente pequeñas. Era infinitamente más difícil que, por ejemplo, partir limpiamente un grano de maíz, teniendo en cuenta que el núcleo de uranio no tenía más que la diez trillonésima parte de un centímetro de diámetro.

En un principio, los científicos intentaron bombardear el núcleo de uranio con un electrón, pero aquella bala diminuta resultó ser excesivamente débil para la tarea. Intentaron también bombardearlo con un protón a alta velocidad pero la fuerza repulsiva de los propios protones del núcleo nunca permitía que se acercara lo suficiente como para producir efecto alguno. Finalmente, en 1934, los científicos probaron con un neutrón (la única otra bala subatómica que se conocía en esa época), ¡y resultó!

Al ser eléctricamente neutro, el neutrón era capaz de infiltrarse en la familia de protones que se repelían mutuamente y separarlos. En ese proceso, el núcleo radiactivo era capaz de soltar un suspiro de alivio, por así decir, soltando una energía cien mil millones de veces mayor que la que se podía obtener a partir de la combustión corriente y ya pasada de moda.

Fue una confirmación contundente, treinta años más tarde, de la ecuación de Einstein. Y más todavía: fue un descubrimiento similar al del fuego. Por primera vez en la historia, habíamos descubierto un modo de liberar la energía embotellada en los núcleos atómicos desde los tiempos de su creación hacía miles de millones de años.

El físico italiano Enrico Fermi fue el primero en romper núcleos con neutrones aunque no se dio cuenta en un primer momento. Eso mismo le ocurrió a la pareja francesa Irène y Frédéric Joliot-Curie y a otro par de científicos alemanes, Otto Hahn y Franz Strassmann: increíblemente, todos ellos habían logrado dividir el núcleo de uranio pero ninguno se dio cuenta de modo inmediato. Esas eran las extravagancias de su complejo esfuerzo.

Hasta enero de 1939, cinco años después de producirse, los físicos no comprendieron lo que habían hecho. Sin embargo, incluso entonces y aunque la noticia de su logro se recibió con emoción y se celebró en toda la comunidad *científica* no consiguió conmover en absoluto a los no científicos.

Los científicos habían descubierto una manera de liberar al núcleo de uranio de su tensión natural

por medios artificiales pero para la mayoría de la gente se trataba de una cuestión académica. Sus problemas estaban centrados en las tensiones políticas que se daban en otras partes del mundo: Japón, Italia y Alemania llevaban ya unos años demostrando su intención de dominar el mundo.

El 1 de septiembre de 1939, el ejército nazi de Hitler invadió Polonia e inmediatamente después el mundo se encontró en estado de guerra. Más aún: con igual rapidez los científicos que hasta hacía muy pocos meses habían conseguido romper los núcleos de uranio radiactivo empezaron a preocuparse: Hitler había suspendido por completo la exportación de uranio procedente de Checoslovaquia, que había sido ocupada por los nazis. Por ello, los científicos supusieron que los cerebros de confianza de Hitler debían de haber descubierto el poder de la física de Einstein.

Después de intentar sin éxito que la Marina de Estados Unidos se interesara por su reciente *tour de force* atómico, Enrico Fermi y otros decidieron consultar al único científico cuya estatura mundial podría cambiar las cosas. Fue en el verano de 1939 cuando el grupo salió hacia New Jersey: iban a visitar al profesor Albert Einstein.

Einstein había llegado a Estados Unidos en 1933 y ya había decidido quedarse cuando el 7 de abril Hitler decretó la expulsión de los judíos de todos los puestos clave de Alemania. Antes de aquello, en el año 1921, a Einstein se le había concedido el premio Nobel de Física aunque, curiosamente, no por su Teoría de la Relatividad Especial. Lo había recibido por su participación en el desarrollo de la mecánica cuántica, una teoría del comportamiento atómico que era aún más arcana que la propia relatividad. Einstein se había convertido en el científico más famoso y mundano de la era moderna. Se codeaba con la realeza, se trataba con presidentes y se convirtió en una estrella de los medios de comunicación… ávido de cámaras y prestándose incluso a posar con personajes célebres de Hollywood.

En 1933 aceptó un puesto en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton (New Jersey). Se había sentido atraído por el entorno rural y tranquilo del instituto y la compañía de antiguos amigos que también se mudaban allí para eludir la garra de los nazis al otro lado del océano. Como ellos, había renunciado a su nacionalidad alemana aunque en ese momento, a la vista de la megalomanía demoníaca de Hitler, Einstein ya había comenzado a preguntarse si no debería hacer algo más que eso.

Durante la mayor parte de su vida, Einstein había sido un marginado científica, social y políticamente. Una y otra vez se había referido a sí mismo como un «apátrida» y había terminado por ser ciudadano de un país políticamente neutral: Suiza.

Durante la Primera Guerra Mundial, el inicio del siglo, y mientras el ejército alemán se abría paso por la fuerza en toda Europa, la mente de Einstein se había abierto paso en la ciencia, arrasando el paisaje intelectual con una nueva teoría tras otra; había sido capaz de ignorar todos los violentos conflictos que le rodeaban.

«Comparado con el trabajo sus problemas de la vida cotidiana no parecían excesivamente importantes —recordaba Philipp Frank, un físico que había trabado amistad con Einstein durante esos años de guerra—. Lo cierto es que le resultaba difícil tomárselos en serio».

Solo *después* de aquella atroz guerra se vio obligado Einstein a tomarse en serio la creciente influencia de los nazis. Aunque solo fuera porque estos habían presionado a las universidades para que abandonaran la enseñanza de aquella física *judía* y volvieran a la enseñanza y a la práctica de la física *alemana*.

Uno de los primeros conversos, el físico Philipp Lenard, había insistido en que la práctica de la ciencia era «racial, y condicionada por la sangre». La física alemana era superior porque, según sus

propias palabras, era «la física de los que habían sondeado las profundidades de la realidad, buscadores de la verdad, la física de los mismísimos fundadores de la ciencia».

Einstein se había quedado de piedra ante semejante giro de los acontecimientos. Durante toda su vida se había ido acostumbrando a vivir en su propio mundo, estuviera donde estuviera y sucediera lo que sucediera a su alrededor. Pero estas acusaciones (que, como en el caso de Lenard, las hacían algunos de sus colegas más apreciados) le habían sacado de su burbuja introspectiva como no le había ocurrido nunca, ni siquiera en el Gymnasium Luitpold o durante la propia gran guerra. Había sido la mayor revelación de rebeldía que aquel renegado había hecho en sus cuarenta años de vida: Albert Einstein el científico había descubierto a Albert Einstein el judío.

En ese momento, en vísperas de la Segunda Guerra Mundial, estuvo tentado una vez más (y casi sucumbió a la tentación) a mantenerse al margen y concentrarse en su investigación. Pero su crudo despertar tras la Primera Guerra Mundial le había hecho darse cuenta de que *desear* sin más la paz no era suficiente; había que trabajar para conseguirla.

Einstein se había convertido en una especie de activista de la paz, lo que significaba que después de escuchar cuidadosamente al grupo de científicos ansiosos que le visitó aquel día de julio de 1939, se quedó con una mezcla de sentimientos. En efecto, le pedían su ayuda para desarrollar un instrumento de guerra, aquello que tanto odiaba. Y sin embargo, se daba cuenta de que si los aliados pudieran derrotar a Hitler creando una bomba atómica sería utilizada como instrumento para la paz.

Finalmente, el 2 de agosto de 1939 aceptó escribir una carta al presidente de Estados Unidos, Franklin Roosevelt:

> Señor: ciertos trabajos recientes… que me han sido comunicados en manuscrito, me llevan a esperar que el elemento uranio pueda convertirse en un futuro inmediato en una nueva e importante fuente de energía…

En la carta, Einstein instaba a Roosevelt a proporcionar fondos para una posterior investigación sin demora. Y por si acaso el presidente no comprendía esa necesidad urgente, la concluía con esta ominosa advertencia:

> …Que Alemania ha interrumpido ya la venta de uranio de las minas checoslovacas… podría quizá entenderse sobre la base de que el hijo del subsecretario de Estado alemán, Von Weizsäcker, está relacionado con el Instituto Káiser Guillermo de Berlín donde se está repitiendo ahora parte del trabajo norteamericano con el uranio.

Cuando el presidente Roosevelt leyó la carta, reaccionó como la mayoría de los políticos ante cualquier sugerencia: formó una comisión para reflexionar sobre la cuestión. En noviembre, la comisión informó al presidente recomendándole que hiciera lo que los científicos le habían recomendado.

En cuestión de días, cientos de científicos que trabajan en las universidades y en los laboratorios de todo Estados Unidos (muchos de ellos refugiados europeos) se pusieron a la enorme tarea de dar vida al arma más destructiva que la humanidad había concebido.

Se tardó cinco años, costó dos mil millones de dólares y necesitó de miles de personas, pero el 16

de julio de 1945 estaba listo para la prueba el resultado de todo aquel esfuerzo y todo aquel gasto. Einstein, que a lo largo de todos esos años había permanecido en el instituto trabajando en una de sus nuevas teorías, prefirió no estar en el lugar de la prueba. El ingenio iba a ser detonado en medio del desierto de Nuevo México, en la base aérea de Alamogordo, a más de treinta y dos kilómetros de la población más cercana.

Nadie sabía qué se podía esperar, de modo que los científicos fueron cautelosos en sus preparativos. El joven físico que había dirigido el diseño y la construcción del ingenio, J. Robert Oppenheimer, estaba encerrado en una casamata a quince kilómetros del lugar. Con él se encontraban los altos directivos civiles del proyecto y uno de los directores militares: el general Thomas Farrell.

Los operarios habían trabajado toda la noche preparando la prueba de la mañana y en cuanto el sol surgió por el horizonte, todo el mundo tenía una vista despejada de la torre de detonación. Comenzó la cuenta atrás y al llegar a cero, la explosión del ingenio encendió el mundo, de forma parecida a como lo hiciera el propio Einstein de joven cuarenta años atrás.

«Los efectos luminosos empobrecen cualquier descripción —escribiría Farrell más tarde—. Todo el campo se iluminó con un proyector muchas veces más intenso que la luz del sol de mediodía. Era dorado, púrpura, violeta, gris y azul. Iluminó todos los picos, las hendiduras y los riscos de la cercana cadena montañosa con una claridad y una belleza que no pueden describirse pero que hay que ver para imaginarla».

Oppenheimer se sintió aliviado de que su proyecto hubiera tenido éxito, pero también se asustó y se le pasó el entusiasmo con lo que vio: «Me he convertido en Muerte», dijo para sus adentros, citando las escrituras védicas. «En un destructor de mundos». Farrell expresó sentimientos similares, explicando que a continuación de la onda expansiva de la poderosa bomba llegó «el horroroso rugido que advertía del Juicio Final y que nos hizo sentir que éramos insignificantes seres blasfemos al atrevemos a jugar con las fuerzas que hasta entonces habían estado reservadas al Todopoderoso».

Cuando Einstein supo la noticia se vio reconfortado por la posibilidad de que aquella horrorosa creación pudiera acobardar al enemigo y obligarle a rendirse, consiguiéndose así la paz. Pero tres semanas después, cuando Einstein y el mundo entero vieron lo que aquella nueva bomba había hecho en la ciudad japonesa de Hiroshima (y en Nagasaki, tres días después) el propio Einstein se vio obligado a pensárselo por segunda vez. Lamentaría, retrospectivamente, haber «cometido un gran error en mi vida… al firmar la carta recomendando al presidente Roosevelt que se fabricaran esas bombas».

Toda su vida había adorado Einstein la curiosidad natural de la mente sobre el mundo físico. Mientras otros a lo largo de la historia habían luchado por su derecho a ser libres o a celebrar libremente el culto de su elección, él había luchado con el mismo denuedo y la misma tenacidad por el derecho a tener una curiosidad sin trabas.

Durante aquella lucha de toda su vida, había llegado a albergar un abierto desprecio por las escuelas de su época; escribía: «En verdad, es prácticamente un milagro que los modernos métodos de enseñanza no hayan estrangulado por completo la sagrada curiosidad de la mirada inquisitiva; porque esa delicada plantita… se yergue fundamentalmente necesitada de libertad; sin ella se va al garete y se pierde sin remedio».

Sin embargo, y por segunda vez en su vida, las consecuencias de la guerra habían obligado a Einstein a hacer un inesperado descubrimiento de sus creencias personales. Las bombas A descargadas sobre Japón (y que pronto llevarían al término de la guerra mundial) habían liquidado su nada

matizada adoración por la inquisitiva mirada humana. Con sus propios ojos veía entonces un aspecto no tan sagrado de la curiosidad: supo que si esa delicada plantita no se nutría con cuidado y con compasión entonces seríamos nosotros, los seres humanos, los que nos iríamos al garete y nos perderíamos sin remedio.

Al acabar la guerra, Einstein se sumergió en su mundo propio una última vez. Sin embargo, haber visto la luz no disminuyó su curiosidad científica al igual que aquella epifanía sufrida después de la Primera Guerra Mundial no le hizo menos judío; al contrario.

Al terminar la Primera Guerra Mundial se había convertido en un sionista declarado. Tanto que, de hecho, en 1952 y a la muerte de Chaim Weizmann, los israelíes le pidieron que se convirtiera en su nuevo presidente, honor que declinó respetuosamente.

Ahora, al final de la Segunda Guerra Mundial, se convirtió en valedor celoso de otra causa: Einstein quería dar con una única teoría que pudiera explicarlo *todo* en el mundo físico, una especie de oráculo científico capaz de dar todas las respuestas a todas las preguntas que pudieran pasar por la mente humana. Los físicos la denominaron Teoría del Campo Unificado.

Con el paso de los años, y aunque su mente siguió activa, su cuerpo envejeció y se debilitó. Finalmente, murió el 18 de abril de 1955 en medio de su esfuerzo infructuoso para dar con todas las respuestas. Al final, Oppenheimer recordaba: «En él siempre había una maravillosa pureza a la vez infantil y profundamente tenaz».

La curiosidad infantil de Einstein siempre le había hecho una persona aparte. Aunque la mayoría de los humanos nacen con una curiosidad sin límites suelen ir desprendiéndose de ella conforme van creciendo; en tal sentido, Albert Einstein nunca había terminado de madurar por completo.

En los años siguientes, muchos se fijaron en aquel hombre extraordinario y cuestionaron su implicación en la creación de la bomba atómica, como él mismo había hecho antes. La discusión se hizo todavía más penosa después del año 1952, cuando los científicos norteamericanos probaron el primer ingenio *termonuclear* (precursor de la bomba de hidrógeno) cientos de veces más letal que las bombas A empleadas en Japón.

Inevitablemente, los críticos culparon a la ciencia (y a los físicos en concreto) de introducir a la humanidad en la era atómica que ahora ponía en peligro el futuro de todo el planeta. Se lamentaban de que la vida había tardado en evolucionar miles de millones de años y solo costaría unos pocos minutos que las terribles armas nuevas de la ciencia la barrieran por completo.

Aun estando estas recriminaciones perfectamente justificadas, los críticos pasaban por alto la importantísima afirmación darwiniana de que durante el curso de nuestra evolución hemos retenido solamente aquellos rasgos que *realzaban* nuestra probabilidad de supervivencia. Si la teoría de la evolución natural era correcta, por tanto, era absolutamente posible que la curiosidad, lejos de ser nuestra némesis, resultara ser precisamente nuestra salvación.

Lo cual no equivalía a decir que, a lo largo del camino, no pudiera haber muertos por la curiosidad. A lo largo de la historia documentada, cientos de miles, seguramente millones, de personas inocentes habían perdido la vida por ser excesivamente curiosas. Pero si la curiosidad no servía en último extremo a ningún propósito útil, entonces ¿por qué había surgido tan irreprimible pulsión y por qué había persistido hasta nuestros días?

Seguramente la curiosidad no era el único rasgo de dos filos que habíamos adquirido en el curso de nuestra evolución como especie. Peligros similares los había inherentes a esos otros aparentemente indomables impulsos humanos: el hambre y el sexo. Es decir, que las personas enfermaban o morían

de manera habitual por comer alimentos en mal estado o por mantener relaciones con personas enfermas y, sin embargo, nadie había propuesto prescindir de nuestra hambre o de nuestra libido.

En resumen, que la necesidad de preguntar parecía estar en nuestros genes junto con la necesidad de comer y de reproducirnos. Era incluso posible que esa curiosidad nos guiara a cierto destino específico (fuera entre las estrellas o aquí en la Tierra) a cierto lugar y a cierto momento especiales que nos enseñaran todo lo que siempre hemos querido saber del mundo natural y sobre cómo sobrevivir en él de la mejor manera posible.

De ser así, la curiosidad de Albert Einstein habría conseguido llevar mucho más allá nuestra caza carroñera de respuestas genéticamente determinada: mucho más lejos que nadie. Comprensiblemente, hoy muchas personas se muestran tan ansiosas en esas mareantes alturas y por el precario paisaje que se divisa desde ellas, que están deseando volver a bajar. Pero si la ciencia nos ha enseñado algo durante los pasados dos mil años es precisamente esto: aislarse de las consecuencias de nuestra curiosidad, consecuencias que conmueven los cimientos de la Tierra, es tan imposible como viajar en el tiempo y, casi con toda probabilidad, tan indeseable como invertir el sentido de la evolución.



MICHAEL GUILLEN. Divulgador científico americano, licenciado en Física y Matemáticas en Cornell y profesor en la Universidad de Harvard. Es conocido por su labor en el programa *Good Morning, America* como asesor científico, así como en otros programas y documentales, aunque siempre se le ha tildado de rozar la barrera entre la divulgación y la seudociencia. Ha publicado varios libros y ensayos sobre aspectos científicos y se ha implicado en varios proyectos cinematográficos.

Notas

[1] Los *maypoles* son postes adornados con flores y cintas en torno a los cuales se baila en la festividad del Primero de Mayo. (*N. del T.*) <<

[2] *Orange*, en inglés, «naranja». De ahí el título de este capítulo. (*N. del T.*) <<

[3] El Lord High Chancellor es el funcionario de más alto rango de la Corona inglesa, presidiendo la Cámara de los Lores y ejerciendo asimismo las funciones de máxima autoridad judicial. (*N. del T.*) <<

[4] Publio Horacio Cocles, legendario héroe romano famoso por defender un puente sobre el Tíber contra el asalto de los etruscos. (*N. del T.*) <<

[5] Las «medias azules» eran mujeres afines o pertenecientes a la Blue Stocking Society, asociación culta que se reunía en casa de Elizabeth Montagu (1720-1800) o de otras personas de su círculo íntimo. Las reuniones trataban todos los aspectos relevantes de la sociedad de su tiempo y el nombre se debe a que los hombres que asistían estaban dispensados de llevar las medias negras apropiadas para la noche, pudiendo llevar las azules que ordinariamente se usaban durante el día. (*N. del T.*) <<

[6] Faraday nunca fue presidente de la Real Sociedad (Royal Society). Posiblemente se trate de una confusión del autor o del traductor, queriendo decir, posiblemente, que rechazó el cargo por dos veces. (*N. del E. D.*) <<

[7] *Sturm und Drang*, expresión alemana que podría traducirse por «Tormenta e impulso», es el nombre que designa un movimiento prerromántico alemán del siglo XIX, fundamentalmente literario, caracterizado por su oposición al clasicismo y al academicismo. (*N. del T.*) <<

[8] Palabra inglesa derivada del hebreo *kaser*, «lo recto», «lo justo», y que se refiere a la aplicación rigurosa de los preceptos judíos ortodoxos, especialmente en lo que se refiere a la pureza de la comida y su preparación antes del consumo. (*N. del T.*) <<

[9] Aquí hay un juego de palabras intraducible: *wake* significa tanto «estela» como «velatorio». (*N. del T.*) <<